

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra automatizační techniky a řízení

Diplomová práce

2010

Bc.Petr CZYŽ

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra Automatizační techniky a řízení

**Měření základních funkčních parametrů
klimatizačních jednotek**

**Measurement of Basic Function Climate Units
Parameters**

Student:

Bc.Petr CZYŽ

Vedoucí bakalářské práce:

Prof. Ing. Jiří Tůma, CSc.

Ostrava 2010

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh
vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl
jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 18.5.2010



.....

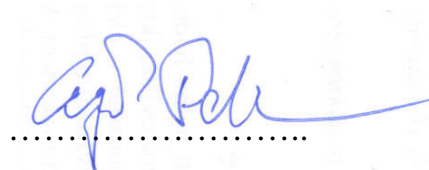
Poděkování:

Rád bych poděkoval své rodině, která svou vstřícností a tolerancí vytvářela skvělé podmínky nejen pro psaní této práce, ale také pro studium na VŠB-TUO v Ostravě. Rád bych také poděkoval svému kolegovi Réné Tichavskému z firmy Visteon – Autopal s.r.o za pomoc při měření a vyhodnocení výsledků provedených na systémovém standu.

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školního představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB–TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst.4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 18.5.2010



Petr Czyž
Č.p.486
742 71 Hodslavice

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Czyż, P. *Měření základních funkčních parametrů klimatizačních jednotek* : diplomová práce. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra automatizační techniky a řízení, 2010, 59s. Vedoucí práce: Tůma, J.

Diplomová práce se zabývá rozбором základních měření na klimatizačních okruzích. V úvodu byla vytvořena struktura dělení klimatizačních jednotek podle jejich fyzikálního principu, shrnutí hlavních požadavků, které musí splňovat a seznam obvykle měřených veličin na těchto okruzích. Pro příklad byl podrobně popsán moderní klimatizační okruh automobilu včetně použitých komponent. V další části byl vytvořen souhrn technických požadavků na vlastnosti snímačů pro kontrolu chodu jednotek. Byly také podrobně popsány principy, rozsahy a přesnosti jednotlivých běžně používaných snímačů. V závěrečné práci byla provedena vzorová měření. První typ měření byl proveden na tlakovém snímači okruhu s cílem, podle příslušné normy, stanovit jeho přesnost opakovatelnost, linearitu, atd. Druhé měření je pak provedeno na laboratorním okruhu. Jeho cílem je pak stanovení ideálního plnicího množství. K tomuto měření je zapotřebí stanovení většiny provozních veličin okruhu s cílem následného stanovení nejvyšší dosažitelné účinnosti chodu ve vztahu k jeho hmotnostnímu plnění. Měření posloužilo jako zkušenost pro provedení změn, ke zlepšení postupu měření a zvýšení jeho přesnosti. Jednotlivé změny a jejich výsledky byly zdokumentovány v závěru diplomové práce.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Czyż, P. *Measurement of the basic function Climate Units parameters* : Master thesis. Ostrava : VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Control Systems and Instrumentation, 2010, 59p. Thesis head: Tůma, J.

This master thesis analyses the fundamentals of the air – conditioning (A/C) measurements. In the introduction there was created the structure of the general A/C systems organised in accordance with their principle and a summary of the essential requirements which these systems have to meet. Also there was created the list of commonly measured quantities of these systems. As an example there was described in detail a modern car A/C system including used components. In the next part of the thesis there is created a summary of the technical requirements of the features, principles, appropriate ranges and required accuracy of the commonly used sensors. In the final part were provided model measurements. The first measurement was provided at the A/C pressure sensor to find out its basic features like repeatability, accuracy and linearity in accordance with normative technical procedures. The goal of the second measurement, provided at the lab A/C system, was to find out the ideal maximum amount of refrigerant required. This measurement needed to determine most of the main functional quantities to control when the A/C system reaches the ideal balance between the highest efficiency of the system and its maximum charge. The performed measurement was used as an experience to develop a better measurement procedure and to provide changes, which increases the accuracy of the measurement of the system. The particular changes carried out and the summary of the results achieved are described in the concluding part.

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

| ZNAČKA | NÁZEV | JEDNOTKA |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| COP_{IN}, COP_{REF} | Účinnost klimatizace | [] |
| t | Teplota | [K] |
| p | Tlak | [Pa] |
| Q | Teplo | [J] |
| H | Entalpie | [J.kg ⁻¹] |
| P | Výkon | [W] |
| F | Síla | [N] |
| v | Rychlost | [m.s ⁻¹] |
| s | Dráha | [m] |
| W | Práce | [J] |
| f | Frekvence | [Hz] |
| M_K | Krouticí moment | [N.m ⁻¹] |
| \dot{m} | Hmotnostní tok | [kg.s ⁻¹] |

OBSAH:

| | |
|--|----|
| 1 Úvod..... | 1 |
| 2 Požadavky kladené na klimatizační okruhy | 2 |
| 2.1 Základní rozdělení klimatizačních okruhů | 2 |
| 2.2 Obecné požadavky na klim. okruhy a principy činnosti..... | 3 |
| 2.3 Příklady zhodnocení požadavků na klimatizace | 4 |
| 2.4 Ekologické požadavky, certifikace | 5 |
| 2.5 Měření veličin na klimatizačních okruzích..... | 6 |
| 2.5.1 Teplota a měření teploty | 6 |
| 2.5.2 Tlak a měření tlaku | 7 |
| 2.5.3 Hmotnostní tok a měření hmotnostního toku..... | 7 |
| 2.5.4 Teplo a výpočet tepla..... | 8 |
| 2.5.5 Výkon a výpočet výkonu | 10 |
| 2.5.6 Účinnost a výpočet účinnosti | 11 |
| 3 Podrobný popis automobilové klimatizace | 15 |
| 3.1 Princip automobilové klimatizace..... | 15 |
| 3.1.1 Systém s expanzní tryskou konstantního průřezu | 16 |
| 3.1.2 Systém s expanzním ventilem..... | 16 |
| 3.2 Technické provedení automobilové klimatizace..... | 17 |
| 3.2.1 Popis klimatizačního okruhu Ford Fiesta | 17 |
| 3.2.2 Kompresor..... | 18 |
| 3.2.3 Kondenzátor | 20 |
| 3.2.4 Expanzní tryska | 21 |
| 3.2.5 Výparník | 22 |
| 3.2.6 Akumulátor | 23 |
| 3.2.7 Klimatizační vedení..... | 25 |
| 3.2.8 Teplotní a tlakové snímače | 26 |
| 4 Technické požadavky na klimatizační snímače..... | 27 |
| 4.1 Požadavky výrobně – montážní..... | 27 |
| 4.2 Požadavky na vlastnosti měření..... | 28 |
| 4.3 Požadavky na odolnost snímačů | 29 |
| 4.4 Popis principu činnosti klimatizačních snímačů | 31 |
| 4.4.1 Princip snímače tlaku na klimatizačním okruhu | 31 |
| 4.4.2 Princip spínače tlaku na klim. okruhu | 32 |
| 4.4.3 Princip teplotních snímačů na klimatizačním okruhu | 33 |
| 5 Měření tlaku na klimatizačních komponentách | 36 |
| 5.1 Měření na pulzačním zařízení..... | 37 |
| 5.2 Vyhodnocení výsledků měření | 39 |
| 5.3 Měření v teplotní komoře..... | 43 |
| 5.4 Vyhodnocení výsledků měření | 44 |
| 6 Měření na laboratorním klimatizačním okruhu | 46 |
| 6.1 Laboratorní klimatizační okruh | 46 |
| 6.2 Účel a popis laboratorního měření..... | 48 |
| 6.3 Zpracování výsledků měření | 49 |
| 6.4 Vyhodnocení výsledků měření | 52 |
| 7 Závěrečné zhodnocení výsledků měření | 55 |
| 7.1 Směry zlepšení měření na klimatizačních okruzích | 55 |
| 7.2 Zhodnocení získaných zkušeností..... | 57 |
| Seznam literatury | 59 |

1 Úvod

Subjektivní pocit příjemného prostředí pro práci, řízení auta nebo odpočinek výrazně ovlivňuje jen několik málo veličin. Jejich aktivním ovlivněním lze dosáhnout výrazného zlepšení pocitu z prostředí jako takového. Mezi tyto základní faktory patří například fyziologická pohoda v automobilu, ať už toxická, aerosolová nebo mikrobiální, ale také akustická nebo optická atd. Z pohledu člověka je teplota velmi důležitým faktorem pro život. Příliš vysoká nebo naopak příliš nízká teplota podstatným způsobem ovlivňuje jeho chování, výkonnost, pozornost a ostatní projevy, jež jsou velmi důležité například z pohledu bezpečnosti řízení vozidla nebo pro samotný příjemný pocit z vykonávané práce.

Tato diplomová práce se bude zabývat zejména účelovým snižováním teploty proti teplotě okolní. Zvyšování teploty, i když je také velmi podstatné, není touto prací popisováno. Snižováním teploty je zároveň možné ovlivňovat i jiné sledované veličiny, jako je například vlhkost. Snížení vzdušné vlhkosti lze ocenit z vícero pohledů. Prvním z nich je snížení projevů pocení člověka a tím subjektivního zlepšení pocitu příjemného prostředí např. v kabině automobilu nebo v kanceláři při práci. Druhým pohledem je důsledek snížení rosného bodu a tím zamezení např. rosení oken automobilu, samozřejmě hlavně čelního skla. Výsledkem je velmi podstatné zvýšení bezpečnosti řízení.

Účelové snižování teploty od okolní úrovně je také velmi výrazným průmyslovým odvětvím. Chladírenské technologie nacházejí své uplatnění téměř ve všech odvětvích průmyslu. Setkáme se s nimi například v potravinářském průmyslu, kde lze takto výrazně prodloužit trvanlivost výrobků a tím např. umožnit jejich distribuci nebo prodloužení trvanlivosti. Příkladem denně používané chladicí technologie je například obyčejná domácí chladnička, kdy snížení teploty zpomaluje mikrobiální pochody v potravinách. Ve zdravotnictví nacházíme chladírenské aplikace např. při uchovávání biologických vzorků, uchovávání léků (čípků, mastí, některých druhů antibiotik, inzulínu) nebo při chodu operačních nástrojů. Velmi zajímavou aplikací je použití velmi nízkých teplot u kryo – komor pro léčebné nebo regenerační účely.

S velkými klimatizačními jednotkami se lze také setkat na zimních stadionech, kde jsou tyto systémy využívány pro vytvoření a udržení ledové plochy. Tímto způsobem bylo umožněno výrazného prodloužení sezóny ledního hokeje. Dalším příkladem stacionárního typu klimatizace je tepelné čerpadlo. Zde se využívá opačného efektu klimatizace a celý systém naopak slouží k vytápění. Lze takto dosáhnout velmi hospodárného způsobu vytápění v budovách nebo rodinných domech.

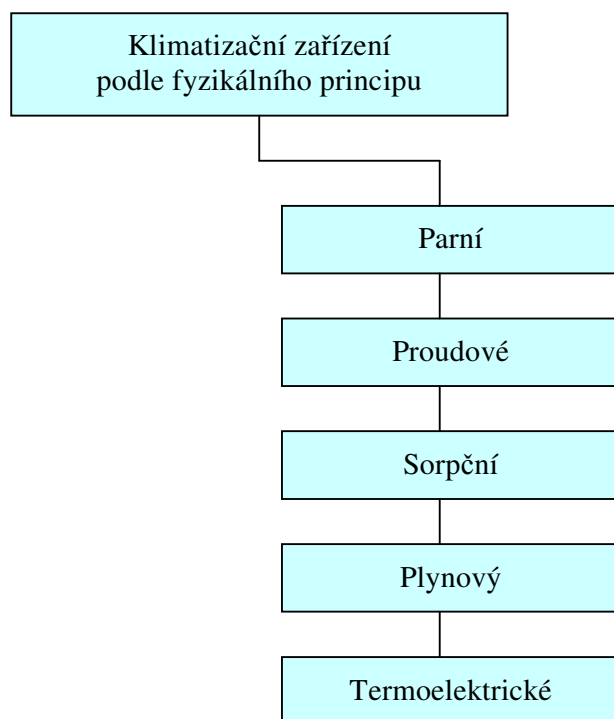
Výsledné použití klimatizačních jednotek velmi výrazně ovlivňuje jejich konstrukci a s tím související použité chladicí médium – chladivo. Ani použitý fyzikální princip nemusí být totožný pro všechny aplikace, jež jsou dnes běžně využívány.

2 Požadavky kladené na klimatizační okruhy

Základním požadavkem kladeným na klimatizační okruhy je samozřejmě snižování teploty proti teplotě okolí. Konkrétní požadavky na jednotlivé typy klimatizací jsou však již velmi odlišné. Liší se především účelem pro který jsou konstruovány. Z tohoto faktu se odvíjí rozdílnost jejich konstrukce, použitého fyzikálního principu atd. Pro ujasnění těchto požadavků je tedy vhodné, vytvořit jejich základní typové rozdělení.

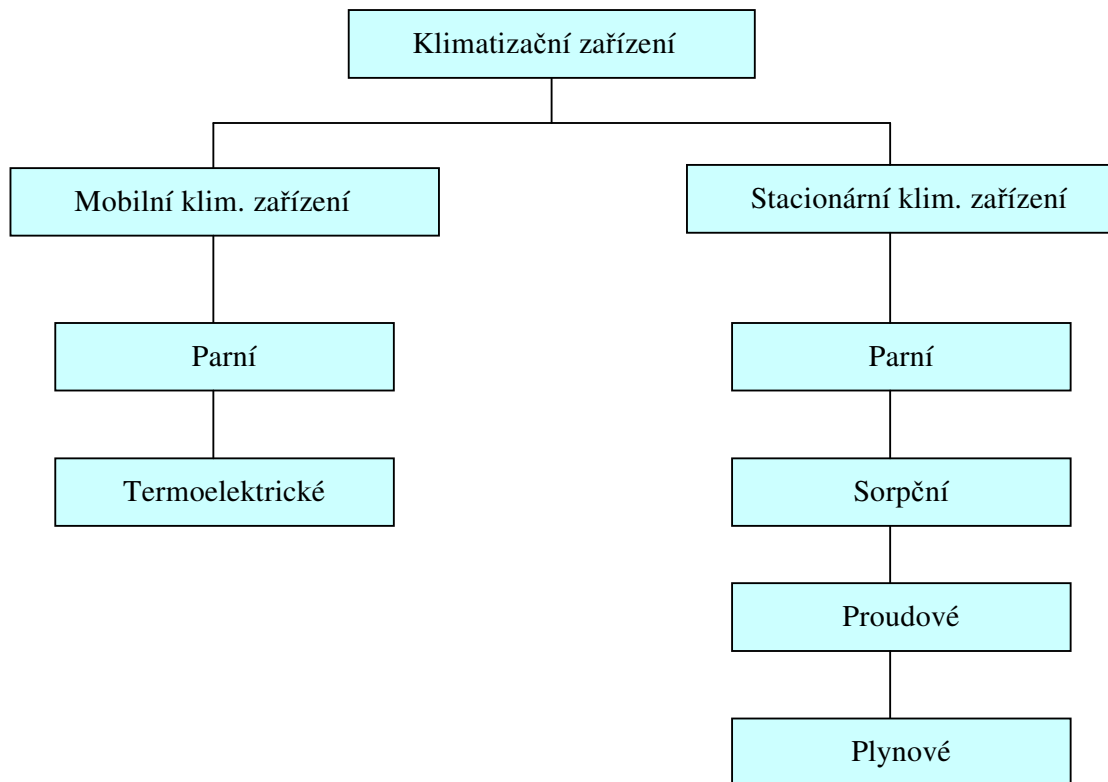
2.1 Základní rozdělení klimatizačních okruhů

Základní rozdělení klimatizačních jednotek lze provést mnoha způsoby. Máme-li se seznámit s požadavky kladenými na klimatizační okruhy z pohledu jejich účelu je vhodné zvolit rozdělení okruhů podle použitého fyzikálního principu, viz. obrázek č. 2.1.



Obrázek 2.1 Základní rozdělení klimatizačních okruhů [Říha 2008]

Z pohledu této práce je důležitým faktorem právě mobilita klimatizace. Proto je vhodné toto rozdělení upravit tak, aby byla vzata v úvahu právě mobilita klimatizace jako takové. Tento model rozdělení je pak vidět na obrázku č. 2.2. Pro další podrobnější dělení je znovu použito dělení podle fyzikálního principu klimatizací, jenž je pro popisované téma vhodné.



Obrázek 2.2 Příklad dělení klim. zařízení podle mobility [Říha 2008]

2.2 Obecné požadavky na okruhy a principy činnosti

V obou případech, tedy jak u okruhů mobilních, tak rovněž u okruhů stacionárních, je nutné uvést parní klimatizace. Důvodem velkého rozšíření je především vysoká účinnost a tím relativně nízké náklady pro provoz. Z energetického pohledu je velmi výhodné použití kombinace kompresor – kondenzátor – výparník, kde lze dosáhnout relativně velmi dobré účinnosti. Vloženou energií je ve většině případů elektrická energie nebo energie motoru automobilu. Příkladem základního parního systému klimatizace je automobilový klimatizační okruh. Princip tohoto okruhu bude podrobněji popsán v samostatné kapitole této práce.

U mobilních jednotek se lze také setkat s klimatizacemi s použitím Peltiéroveho jevu. Tzv. Peltiérův článek patří mezi základní termoelektrické klimatizace. Jedná se o velice zajímavé zařízení, kde průchodem proudu dvěma kovovými destičkami, jež jsou spojeny tepelně izolovanou vrstvou, dochází ke změně teplotních úrovní těchto destiček. Jestliže bude z teplejší destičky odváděno teplo, lze dosáhnout relativně vysokého teplotního rozdílu. Z důvodu nepříliš vysoké účinnosti (okolo 20% – podle konstrukce), je tento systém používán především u menších aplikací jako například chlazení procesoru počítače nebo automobilové chladničky. Výhodou je zde především velikost a pravděpodobně nepřekonatelná jednoduchost provedení.

K zajímavým a široce používaným fyzikálním principům stacionárních klimatizačních zařízení jsou například sorpční klimatizace. Je zde využíváno fyzikálního principu, kdy je povrchem sorbentu hromaděno chladivo (voda). Související pokles teploty je využit k řízení teploty například ve velkých kancelářích. Obecně je známo, že klimatizace v kancelářích bývají jedním z předmětů sváru mezi zaměstnanci. Tento systém přináší určité řešení právě do těchto prostor. Jejich výhodou je právě velmi dobrý subjektivní pocit z klimatizovaného prostředí, daný pravděpodobně vodou provlhlým vzduchem a konstantností teploty vzduchu, nově přicházejícího do místnosti.

Proudová klimatizace je poměrně levným typem klimatizací a je určena především pro velké aplikace. Jejich zásadní nevýhodou je malá účinnost. Principem je stlačování chladiva ejektorem, v tomto případě se používá obyčejná voda, při následném poklesu tlaku dojde také k poklesu teploty. Její použití je z důvodů hospodárnosti spíše krátkodobé a z použití vody jako chladiva vyplývá, že pracovní teploty jsou nad bodem mrazu.

Plynová klimatizace je dalším spíše alternativním způsobem řízeného poklesu teploty. Jedná se principiálně o systém, kde vnější práci koná chladivo (vzduch), který expanduje v detandéru a tím se ochlazuje na požadovanou teplotu. Nízká energetická účinnost omezuje použití tohoto oběhu na nízké teploty. Jeho výhodou je jednoduchost a z toho vyplývající cena zařízení.

2.3 Příklady zhodnocení požadavků na klimatizace

U systémů, jež mají za úkol udržovat příznivé podmínky pro práci nebo řízení vozidla, je velmi sledovaným požadavkem rozvrstvení vyfukovaného vzduchu. Důvodem je především snížení hlukosti a nebezpečí vytváření koncentrací velmi chladného vzduchu, které ohrožují zdraví uživatelů. I když se jedná o logický závěr, reálné provedení této vlastnosti bývá jednou z nejsledovanějších záležitostí při návrhu celého systému. Jak již bylo napsáno, u stacionárních jednotek kancelářských klimatizací, je tato vlastnost velmi častou záminkou ke sporům mezi jednotlivými uživateli. Důsledkem špatného rozvrstvení chladného vzduchu v automobilu je situace, kde se část oken odmlží a další část zůstává beze změny. Metody měření těchto vlastností využívají dva základní postupy. První z nich je teoretický (matematický) tzv. CFD výpočet, užívaný zejména ve fázi návrhu kabiny.

Druhou možností je použití reálného vozu a laserové zobrazovací metody zviditelnění reálných cest proudění. Do kabiny automobilu se vpustí velké množství heliových bublinek velmi malých rozměrů. Ty jsou tak malé, že nejsou téměř viditelné. Celá kabina vozu vypadá, jako by byla naplněna mlhou. Teprve laserový paprsek zviditelní proudění uvnitř. Lze takto vytvářet nejen cesty proudění, ale také rychlostní profily tohoto proudění uvnitř kabiny. Na obrázku č. 2.3 je vidět příklad zobrazení reálného proudění uvnitř kabiny automobilu.



Obrázek 2.3 Reálné ověření proudění v kabině automobilu [Říha 2008]

2.4 Ekologické požadavky, certifikace

Základní funkčními parametry jsou také ekologické vlivy a faktory. Od roku 2006 byly přijaty Evropskou komisí směrnice, omezující používání současného automobilového chladiva R134a. Faktory, jimiž lze přesně porovnávat ekologičnost jednotlivých chladiv, z pohledu jejich vlivu na životní prostředí, byly známy již dříve. Níže je uveden jejich seznam s jednoduchým vysvětlením obsahu.

- ODP (Ozone Depleting Potential) – schopnost látky narušit ozónovou vrstvu – porovnávací látkou je zde chladivo R11 ($ODP = 11$)
- GWP (Global Warming Potential) – schopnost látky přispět ke zvýšení skleníkového efektu – porovnávací látkou je zde CO_2 - $GWP(CO_2) = 1$
- TEWI (Total equivalent warming impact) – vyjadřuje dopad chladiva na oteplování podnebí na zemi jako ekvivalentní emise CO_2 a to z pohledu účinnosti zařízení v němž pracuje a úniků chladiva ze zařízení. Takže se jedná o součet přímých a nepřímých emisí.
- LCCP (Life cycle climate performance) – vyjadřuje to samé jako TEWI, jen se liší v postupech výpočtu. Rozdíl je v tom, že do nepřímých emisí se započítává u LCCP i výroba a recyklace chladiva.

2.5 Měření veličin na klimatizačních okruzích

Pro bezpečný a optimální chod každého klimatizačního okruhu je nutné sledovat (popř. řídit) jeho provozní veličiny. U jednoduchých zařízení jako jsou například okruhy termoelektrické, je nutné sledovat pouze jedinou veličinu a tou je teplota. U složitějších okruhů, jakým je například automobilová klimatizace, je nutné pracovat také s hodnotou tlaku. Měření dalších veličin, jakými jsou např. poměr obsahu oleje v chladivu nebo rychlost proudění chladiva v okruhu, je používáno hlavně při vývoji a konstrukčním odladění okruhu. Tyto parametry nejsou dále potřebné pro řízení chodu klimatizace a proto nejsou v běžných okruzích dále sledovány. Dalšími parametry ovlivňujícími vlastnosti klimatizačních okruhů jsou např. výkon, účinnost, práce, atd. Ty jsou určeny výpočtem z měření předchozích veličin.

2.5.1 Teplota a měření teploty

Zjednodušeným vysvětlením teploty může být formulace, že teplota je míra pocitů, jež při styku s fyzikálními tělesy vnímáme. Podle teploty jsme schopni rozeznat tělesa jako teplá, vlažná, studená, horká, mrazivá, atd. Teplotu tělesa lze také zaměnit za míru kinetické energie pohybujících se molekul. Související teplotní výkyvy lze pak považovat za známku přijímání a odevzdávání určitého množství tepla. Základní jednotkou teploty je Kelvin. Základní teplotní bod je trojný bod vody. Je to takový rovnovážný stav, při kterém vedle sebe mohou existovat všechny tři fáze vody (led, voda a pára), podmínkou je Normální atmosférický tlak (1013,25 mbar).

Hodnotou termodynamické teploty trojného bodu je $T_0 = 273,15\text{K}$. Z praktických důvodů je hlavně v Evropě rozšířenou jednotkou stupeň Celsia. Tato jednotka používá pro život logičtější přístup. Hodnota teploty trojného bodu je zde označena jako 0°C . Jelikož jsou tyto dvě jednotky proti sobě pouze posunuty, lze je velmi jednoduše přepočítávat podle vztahu $T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273,15$.

Hlavním důvodem použití klimatizačního systému je samozřejmě teplota a proto je její měření zcela zásadní. Jelikož se jedná o základní jednotku SI, je určení teploty dáno jejím přímým měřením. Obvykle je teplota měřena na výstupu klimatizace (výparníku). Pro měření teploty je u automobilových klimatizací použito termočláňkového senzoru. Důvodem je vedle nízké ceny a dlouhé životnosti především velmi rychlá odezva na teplotní změny. Nevýhodou těchto senzorů je jejich relativně malá přesnost a relativně velké změny vlastností v čase. Obě tyto nevýhody se daří omezovat použitím moderních materiálů.

Žádané teplotní rozsahy jsou daleko nižší než je principiálně možné měřit termočláňkovými senzory. U automobilových klimatizačních okruhů je termočlánek umístěn na výparníku a slouží zejména jako pojistka proti poklesu teploty pod bod mrazu (0°C). Důvodem je možné zamrznutí výparníku a tím zneprůchodnění jednotky přípravy vzduchu. U automatických klimatizací se lze setkat s měřením teploty v kabině vozu. Tento senzor je dále použit jako další vstupní veličina do regulačního obvodu. U jednodušších dvoupolohových regulací je vstupním parametrem regulace dosažení maximálního tlaku na výtlačné straně kompresoru.

2.5.2 Tlak a měření tlaku

Tlak je fyzikální veličina udávající poměr mezi kolmou silou a plochou na níž působí. Z pohledu klimatizačních okruhů se jedná o velice důležitou veličinu, kterou je nutno snímat v průběhu chodu a částečně i mimo něj. Při chodu samotném se u klim. systémů s použitím kompresoru sleduje tlak těsně za kompresorem a to jak z důvodu jeho ochrany, tak také jako limitní hodnota tlaku, kdy je možné např. odpojit spojku a dále systém netlakovat. U jednodušších systémů je použito tlakového spínače, jež je nastaven na limitní hodnotu nejvyššího přípustného tlaku. U složitějších systémů je použit tlakový senzor, převádějící hodnotu tlaku na elektrický signál. Ten je dále zpracováván jednotkou a dále vyhodnocen k případnému akčnímu zásahu.

Sledování tlaku mimo provoz klimatizace je umožněn ze dvou důvodů. Příliš nízká hodnota signalizuje nedostatek chladiva v systému a naopak příliš vysoká hodnota tlaku signalizuje selhání některých součástí systému. Horní limitní hodnota je také vždy jistěna ještě přetlakovým ventilem. Ten zajišťuje mechanickou pojistku k řízenému odtlakování systému, při selhání všech elektronických jistění.

Výpočet tlaku lze provést podle vzorce (2.1). Podrobnější popis tlakových čidel, včetně jejich principu, bude popsán v samostatné kapitole.

$$p = \frac{F}{S} \quad (2.1)$$

| | | |
|--------|---|--------|
| kde je | p | tlak |
| | F | síla |
| | S | plocha |

Ze vzorce vyplývá jednoduchý fakt, který je dobré si uvědomit zejména v při přípravě zkoušek klimatizačních vedeních. Při stejném tlaku je síla působící na stěny vedení přímo úměrná průměru vedení. Tedy čím větší vnitřní průměr vedení, tím větší je výsledná síla působící na vnitřní plochy vedení. Největší průměr je na sací straně, kde je tlak nejmenší a je tak možné zvýšit sací rychlost. Naopak vnitřní průměr vedení na výtlačné straně je obvykle o polovinu menší. Je to naopak dáno podstatně většími tlaky, atd.

2.5.3 Hmotnostní tok a měření hmotnostního toku

Hmotnostní průtokoměry obvykle používané pro tento účel, pracují na principu Coriolisova efektu. Princip přístroje, který představila v roce 1977 společnost Micro Motion, je založený na rezonančním kmitání trubice, kterou kapalina protéká. Vibrace poskytují rotující soustavu, ve které se projevuje Coriolisův efekt. Coriolisovy průtokoměry jsou velmi přesné a jejich měření nezávisí na dalších vlastnostech kapaliny. V klimatizačních okruzích je to například obsah oleje rozpuštěného v chladivu.

Přístroj je schopen měřit jak průtok, tak hustotu a teplotu. Měření je dokonce nezávislé na vlastnostech média jako takového. Výrobce udává, že pokud je měřidlo například kalibrováno vodou, není nutné jej překalibrovávat na jednotlivé měřené média zvlášť. Pro konstrukční a měřicí účely je důležité, že měřidlo pracuje obousměrně a není tedy nutné upravovat vedení z tohoto důvodu. V našem případě je měřidlo vybaveno komunikací typu HART a výsledné hodnoty již není nutné dále přepočítávat. Lze je použít přímo do dalších výpočtů.

2.5.4 Teplo a výpočet tepla

Důležitou veličinou u klimatizačních okruhů je teplo. Teplo je jistou formou energie, stejně jako např. mechanická práce. Chování této veličiny je popsáno termodynamickými zákony. U dvou těles s různou teplotou dojde k vyrovnání těchto teplot a to tak, že teplo přejde z teplejšího tělesa na chladnější. Opačný děj není možný (II. termodynamický zákon). Celkové množství tepla v tělese (tělesech) je konstantní (v izolované soustavě) a pouze přechází z jednoho tělesa na druhé (I. termodynamický zákon), viz. vzorec (2.2).

$$dU = dQ + dA \quad (2.2)$$

| | | |
|--------|----|-----------------------|
| kde je | dU | změna vnitřní energie |
| | dQ | změna tepla |
| | dA | změna práce |

Za jednotku tepla byla původně zvolena kalorie [cal]. Jednalo se o množství tepla, jímž se za normálního tlaku zahřeje jeden gram odvzdušněné vody o 1°C. V technické praxi se častěji používala jednotka kcal – jednotka 1000x větší. Dnes platnou jednotkou tepla je tzv. Joule s rozměrem [kg · m² · s⁻²], nebo také [N · m]. Z jednotky je viditelné, že se jedná o klasickou energii a teplo lze tedy přepočítat na práci (silový účinek na dráze) atd. Práce těchto sil odpovídá zvýšení nebo snížení energetického obsahu tělesa.

Joule provedl celou řadu pokusů, jimiž potvrdil, že teplo není samostatnou látkou nebo např. vysvětlil princip, proč se tělesa třením zahřívají. Velmi důležitým zjištěním však bylo, že mechanická práce a takto vzniklé teplo jsou vždy v témže poměru a to dokonce nezávisle na tom jakým způsobem se mechanická práce v teplo proměnila. V souvislosti s principy klimatizačních okruhů se především jedná o mechanickou práci vykonanou stlačením plynu (např. kompresorem). Závěrem této úvahy tedy je, že úbytek mechanické energie je úměrný přírůstku energie tepelné. V uzavřené soustavě má celková energie konstantní hodnotu. Samozřejmě tyto vztahy platí za předpokladu nulových ztrát do okolí atd.

Z pohledu automobilových klimatizací se pro představu teoretických výpočtů počítá, že řidič odevzdává do kabiny vozidla asi 220W, spolujezdec polovinu – asi 110W. Pokud je automobil provozován ve slunečném dni, zmíněná energie tvoří asi 30% celkového množství uvolňovaného tepla. Zbýlých 70% pak přichází radiací slunce. Z tohoto množství pak 50% vniká do vozidla okny a 20% jinými způsoby, například střechou. Hodnoty jsou samozřejmě teoretické a jejich přesné hodnoty se velmi liší podle aktuálních podmínek.

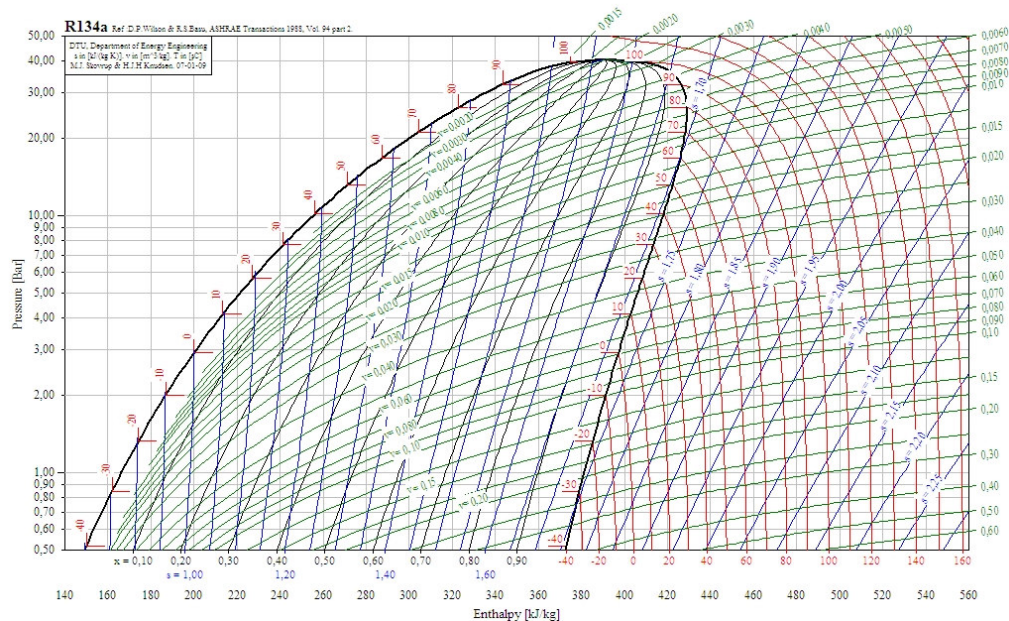
Souvislost mezi mechanickou prací a teplem byla již vysvětlena v minulé kapitole. Vzorec (2.3) ukazuje nejčastěji používanou formulaci. Definice říká, že velikost tepla na kondenzátoru je dána součtem tepla přivedeného kompresorem a tepla získaného na výparníku. Součet ztrát energií na vedení atd. nejsou uvedeny úmyslně. Z praktických měření je ověřeno a obecně známo, že takto vzniklá chyba je velice obtížně rozeznatelná od např. chyb měření atd. Rozdíl takto spočítané výsledné hodnoty a hodnoty změřené je z praxe obvykle nižší než 5 – 10%. Tato hodnota je vzhledem k rozsáhlosti měření velice uspokojivá.

$$Q_C = Q_K + Q_E \quad (2.3)$$

kde je

| | |
|-------|-----------------------------|
| Q_C | teplo na kondenzátoru |
| Q_K | teplo přivedené kompresorem |
| Q_E | práce |

Velmi důležitou pomůckou při výpočtech a také při samotném návrhu klim. systému je tzv. P-h diagram. Příklad takového diagramu lze vidět na obrázku č. 2.4 vytvořeného pro současně používané automobilové chladivo R134a. Na ose x je vynesena Entalpie – tepelná energie uložená v jednotkovém množství látky v kJ/kg a na ose y je vynesena absolutní tlak chladiva v barech. Na pravé straně je dále možné vidět křivky konstantní teploty – izotermy, jež jsou naznačeny červenou barvou. Z těchto hodnot lze zároveň určit hodnoty saturačního tlaku. Linie vyznačené zelenou barvou vyznačují poměrné plnění, jež by bylo potřeba dodržet k vytvoření z grafu odpovídajících podmínek. Z tohoto diagramu lze dále vyčíst většinu základních vlastností chladiva, jako například polohu trojného bodu, saturační linie, skupenství látky v závislosti na teplotě (popř. tlaku), příslušné plnicí množství, atd. Vykreslením teoretického oběhu a nebo také reálného oběhu, podle reálně naměřených dat, lze získat představu o základních vlastnostech, popř. o potřebném nastavení škrticího ventilu klimatizace, atd. P-h diagram lze využít také pro odečítání hodnot entalpií (podle tlaku a teploty) a tím určovat přivedené nebo odvedené teplo z procesu chlazení.



Obrázek 2.4 Obecný P-h diagram pro chladivo R134a [Říha 2008]

Hodnota tepla je obecně potřebná k výpočtu účinnosti COP. Přesné výpočetní určení tepla je poměrně složité a vychází z rozdílu entalpií naměřených na jednotlivých místech v obvodu klimatizace. Pro určení obou COP je nutné určení tepla na výparníku, viz. vzorec (2.4) a tepla na kompresoru Q_{Comp} , viz. vzorec (2.5).

$$Q_{Evap} = H_{Evap_out} - H_{TXV_in} \quad (2.4)$$

kde H_{Evap_out} je Entalpie na výstupu z výparníku
 H_{TXV_in} Entalpie na vstupu do ventilu TXV

$$Q_{Comp} = H_{Comp_out} - H_{Comp_in} \quad (2.5)$$

kde H_{Comp_in} je Entalpie na vstupu do kompresoru
 H_{Comp_out} Entalpie na výstupu z kompresoru

Určení entalpie je funkcí teploty, tlaku a druhu použitého chladiva na určených místech klimatizačního okruhu, viz vzorce (2.61), (2.62), (2.63), (2.64). V našem případě se jedná o chladivo R134a. Hodnotu entalpie lze odečíst přímo z P-h diagramu nebo jak je tomu v našem případě, lze použít k tomuto účelu vytvořeného makra v Excelu. Hodnota entalpie je pak počítána z průměrné teploty a tlaku, který odpovídá chladivu R134a. Průměr naměřených hodnot je počítán za periodu okolo 5-7min v ustáleném stavu běhu laboratorního klimatizačního okruhu.

$$H_{Evap_out} = f(T_{Evap_out}, p_{evap_out}, R134a) \quad (2.61)$$

$$H_{TXV_in} = f(T_{Coax_HP_in}, p_{TXV_in}, R134a) \quad (2.62)$$

$$H_{Comp_out} = f(T_{Comp_out}, p_{Comp_out}, R134a) \quad (2.63)$$

$$H_{Comp_in} = f(T_{Comp_in}, p_{Comp_in}, R134a) \quad (2.64)$$

Měření ostatních výkonů klimatizačních komponent, jako např. kondenzátor, výparník, je prováděno na poměrně rozsáhlém zařízení tzv kalorimetru. Zařízení je schopné velmi přesně určit výkonové charakteristiky komponent spolu s rozvrstvením koncentrací výkonových nesouměrností a tím také dané teplotní profily, atd.

2.5.5 Výkon a výpočet výkonu

Další sledovanou veličinou u klimatizačních systémů je výkon. Obecně je výkon dán vykonanou prací za jednotku času, tedy první derivací práce podle času, viz vzorec (2.7). Výkon lze také popsat jako diferenciální podíl práce a času. Velmi často se můžeme setkat s pojmem střední výkon nebo také průměrný výkon. Jedná se o podíl práce vykonaného v časovém úseku a tohoto časového úseku.

$$P = \frac{dA}{dt} = \frac{F \cdot ds}{dt} = F \cdot v \quad (2.7)$$

kde P je výkon
W práce
t čas
F síla
s dráha

v rychlost

Výkon u klimatizačních okruhů je výrobcí velmi sledovanou veličinou. Znovu je určován pro dva hlavní, k tomuto účelu optimalizované komponenty samostatně a to pro výparník a pro kondenzátor. Hodnota výkonů je samozřejmě důležitá z pohledu marketingu, úspor energií (spotřeby automobilu), atd. V této práci se pracuje hlavně s výkonem motoru pohánějícího kompresor klimatizace. Jak bude později popsáno, motorem přiváděný výkon je vstupní hodnotou pro určení účinnosti COP_{REF} .

Pro tento výpočet se používá vzorec (2.8).

$$P_M = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot M_K \quad (2.8)$$

| | | | |
|-----|-------|----|------------------------------|
| kde | P_M | je | motorem přiváděný výkon |
| | f | | frekvence otáčení kompresoru |
| | M_K | | kroutící moment |

Druhou důležitou charakteristikou, z pohledu této práce, je určení výkonu výparníku. Ten je určen podle vzorce (2.9).

$$P_{Evap} = Q_{Evap} \cdot \dot{m} \quad (2.9)$$

| | | | |
|-----|------------|----|--------------------|
| kde | P_{Evap} | je | výkon na výparníku |
| | Q_{Evap} | | teplo na výparníku |
| | \dot{m} | | hmotnostní průtok |

Výpočet tepla na výparníku Q_{Evap} je popsán v kapitole „Tepla a určení tepla“. Měření hmotnostního průtoku je umístěno před ventilem TXV a princip měření je také popsán v samostatné kapitole.

2.5.6 Účinnost a výpočet účinnosti

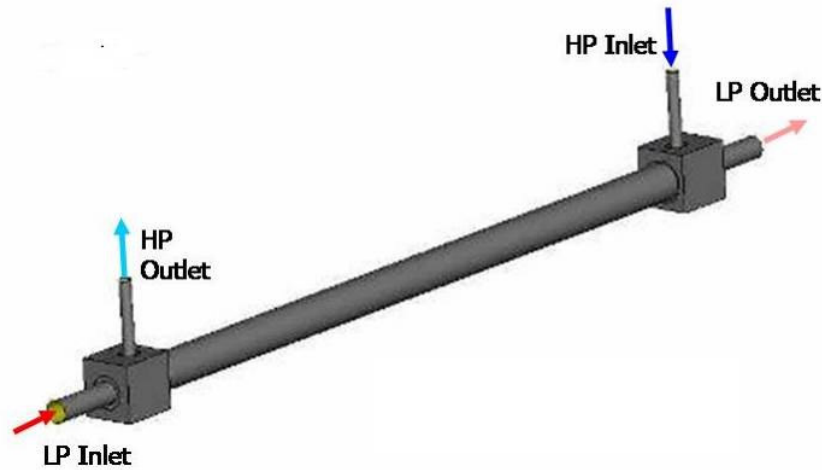
Základním funkčním požadavkem všech klimatizačních systémů je jeho, pokud možno, co nejvyšší účinnost. Jak již bylo napsáno, nejúčinnějším systémem z pohledu vložené energie a energie získané v podobě tepla, je systém s použitím kompresoru. Tento fakt platí v nejpoužívanějším rozsahu teplot. Klimatizační jednotky tohoto typu jsou velmi hojně využívány v kancelářských budovách nebo jak bude dále popisováno, v automobilech. Ovlivnění účinnosti jako takové je obecně stále pod drobnohledem výrobců těchto systémů. Zvýšení účinnosti přináší obecně největší zisk při úsporách energií a stává se předností výrobce před konkurencí.

Kompresorové klimatizační systémy jsou ve své podobě známy již poměrně dlouho a výrazné zvýšení účinnosti se zaměřovalo především na kompresor samotný. Změnou principu kompresoru a především použití principů, jenž byly např. automobilovému průmyslu ušity na míru, se podařilo dosáhnout jakéhosi maxima účinnosti, jehož výrazné zvýšení je již velice obtížné – tedy nákladné. Špičkou mezi dnes používanými kompresory jsou tzv. swash plate kompresory, jenž jsou schopny automaticky měnit dodávané množství chladiva a proměnlivě tím zatěžovat motor automobilu. Z toho vyplývá i lepší rozložení odběru energie z motoru a podstatné zmenšení rázů při chodu motoru samotného. Použitím hliníkových materiálů vedení, výparníku a kondenzátoru, které jsou dnes nejlepší kombinací ceny a poskytovaných vlastností, také již není možné další výrazné zlepšení účinnosti systému.

Výraznou změnu v této oblasti, v poslední době, přineslo použití tzv. koaxiální trubky. Jedná se o kombinaci krátké části vysoko a nízkotlakého vedení do jednoho integrovaného vedení, viz. obrázek č. 2.5. Jak lze vidět z konstrukce na obrázku č. 2.6, výměnou teplot mezi oběma částmi lze ušetřit nezanedbatelnou část energie, jež by musela být vykonána kompresorem. Takto vzniklé navýšení účinnosti se projeví v úspoře spotřeby paliva v automobilu, což je také velmi sledovaným faktorem jak výrobců automobilů, tak hlavně mezi spotřebiteli samotnými.

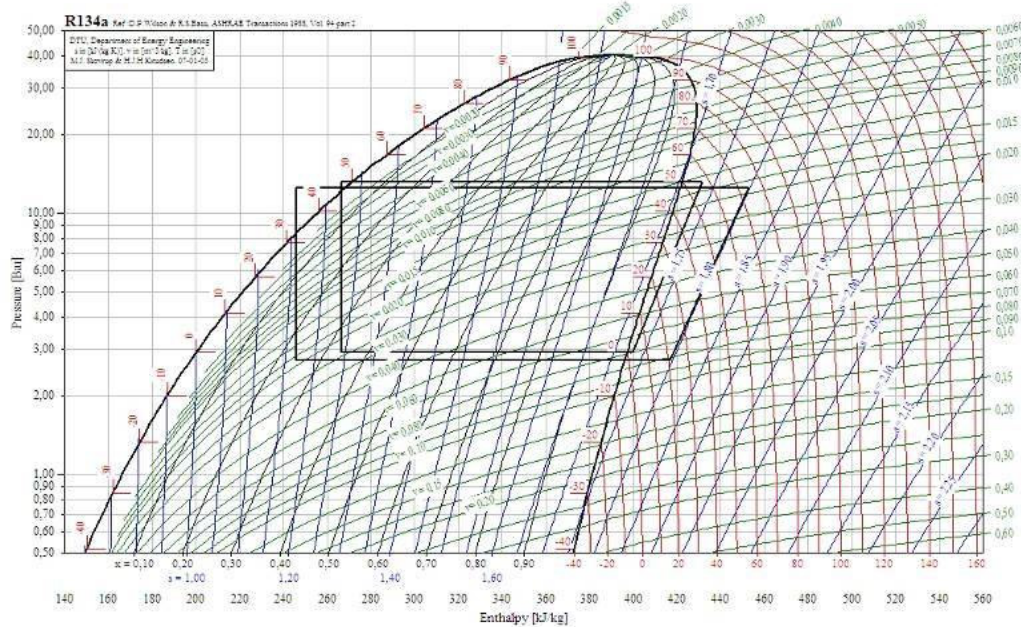


Obrázek 2.5 Koaxiální trubka [Říha 2008]



Obrázek 2.6 Konstrukční řešení koaxiální trubky [Říha 2008]

Vynesení obou teoretických oběhů do P-h diagramu lze získat představu o úspoře, jež takovou úpravou vzniká, viz. obrázek č. 2.7. Užší z těchto dvou okruhů patří klasickému klimatizačnímu systému. Úpravou vedení (koaxiální trubkou) dojde k výraznému rozšíření obvodu a tím zvýšení chladicího výkonu až o 15-20%.



Obrázek 2.7 P-h diagram srovnání okruhů s a bez použití koaxiální trubky [Říha 2008]

Obecné určení účinnosti vyplývá ze vzorce (2.10). Jedná se o primitivní poměr mezi energií poskytnutou a energií přivedenou. Z obecně platných termodynamických zákonů vyplývá, že hodnota účinnosti nemůže být rovna nebo větší jedné.

$$\eta = \frac{P'}{P} \quad (2.10)$$

| | | |
|--------|--------|----------|
| kde je | η | účinnost |
| | P' | výkon |
| | P | příkon |

Velmi často používaným pojmem pro účinnost v chlazení je tzv. COP (coefficient of the performance), jenž udává energetickou účinnost chladicího oběhu. V klimatizačních okruzích lze měřit dva druhy účinnosti COP. První z nich je COP_{IN} , viz. vzorec (2.11). Jedná se o poměr mezi teplem spotřebovaným na výparníku a teplem přivedeným kompresorem.

$$COP_{IN} = \frac{Q_{Evap}}{Q_{Comp}} \quad (2.11)$$

| | | |
|--------|------------|---------------------|
| kde je | COP_{IN} | účinnost |
| | Q_{Evap} | Teplo na výparníku |
| | Q_{Comp} | Teplo na kompresoru |

Druhým typem účinnosti, která je obvykle měřena na klimatizačním okruhu, je referenční účinnost COP_{REF} , viz. vzorec (2.12) Zde se jedná o poměr mezi výkonem na výparníku a výkonem změřeným na kompresoru.

$$COP_{REF} = \frac{P_{Evap}}{P_M} \quad (2.12)$$

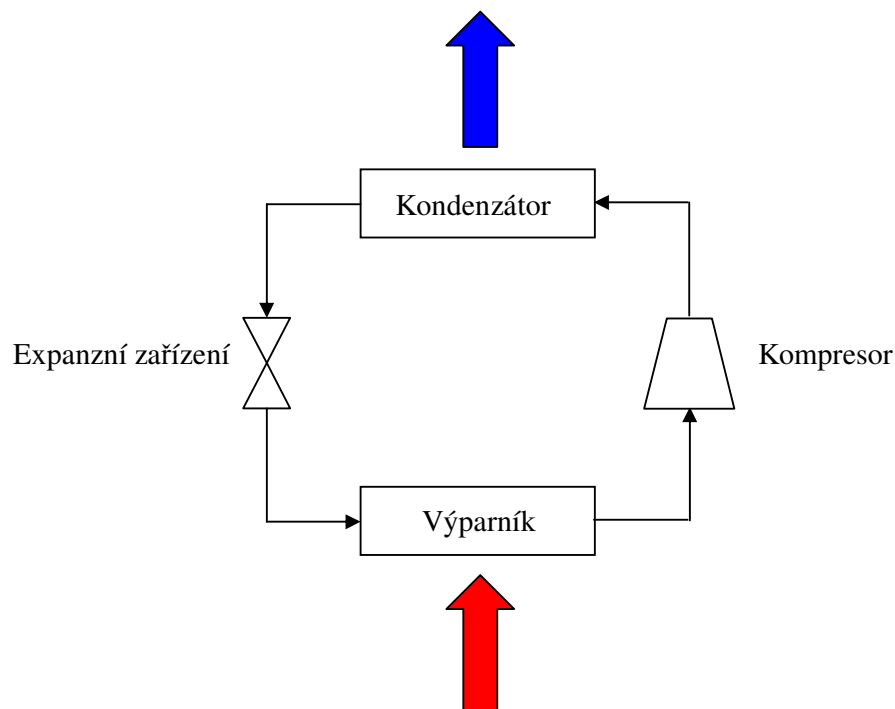
| | | |
|--------|-------------|---------------------|
| kde je | COP_{REF} | účinnost |
| | P_{Evap} | Výkon na výparníku |
| | P_M | Výkon na kompresoru |

3 Podrobný popis automobilové klimatizace

Velmi častým příkladem mobilního klimatizačního okruhu je automobilová klimatizace. Její použití nám usnadňuje cestování a zvyšuje pasivní bezpečnost automobilu. V následujících kapitolách bude popsán princip a technické provedení jednoho konkrétního typu klimatizačního okruhu.

3.1 Princip automobilové klimatizace

Obecným principem automobilové klimatizace je využití fyzikální souvislosti mezi tlakem plynu (chladiwa) a teplotou. Pokud je umožněno odevzdávat teplo na straně jedné, je zároveň možné teplo odebrat na straně druhé. Samozřejmě tento princip pracuje s určitou energetickou ztrátou. Příklad rozvržení je možné vidět na obr. č. 3.1.



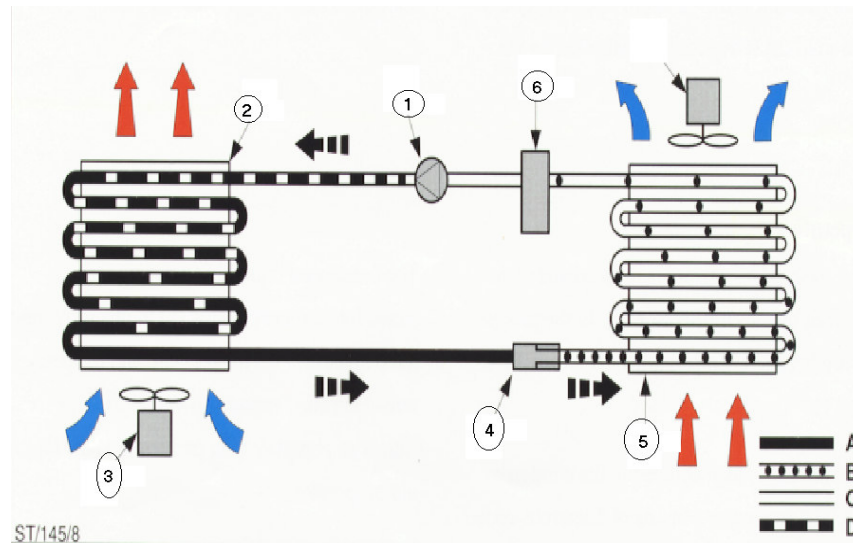
Obrázek 3.1 Zjednodušené schéma automobilové klimatizace

Odebírání tepla z kabiny automobilu je umožněno na výparníku, jenž je umístěn v přední části palubní desky. Předání tepla do okolí je naopak umožněno kondenzátorem v přední části automobilu a to prouděním vzduchu např. při jízdě nebo ofukem ventilátoru v klidu vozidla. Ke zprostředkování tohoto procesu je využito speciálního plynu – chladiwa, jehož termodynamické vlastnosti dovolují použití v automobilu a to zejména z pohledu fázové přeměny v oblasti pracovních tlaků. Nezanedbatelnou podmínkou je bezproblémovost z pohledu bezpečnosti hořlavost, nejedovatost, atd.

Dnešní automobilové klimatizace používají dva základní konstrukční principy. Oba systémy se liší pouze v uspořádání systému a použití odlišného přístupu k zamezení vniknutí kapalně fáze chladiwa do kompresoru. Oba typy budou popsány samostatně.

3.1.1 Systém s expanzní tryskou konstantního průřezu

Prvním, stále poměrně velmi často používaným systémem, je klimatizační systém s expanzní tryskou konstantního průřezu. Jedná se o vývojově starší typ okruhu, jenž je postupně nahrazován systémem novým – s expanzním ventilem. Schématický náčrt klimatizačního systému s expanzní tryskou konstantního průřezu je vyobrazen na obrázku č. 3.2.

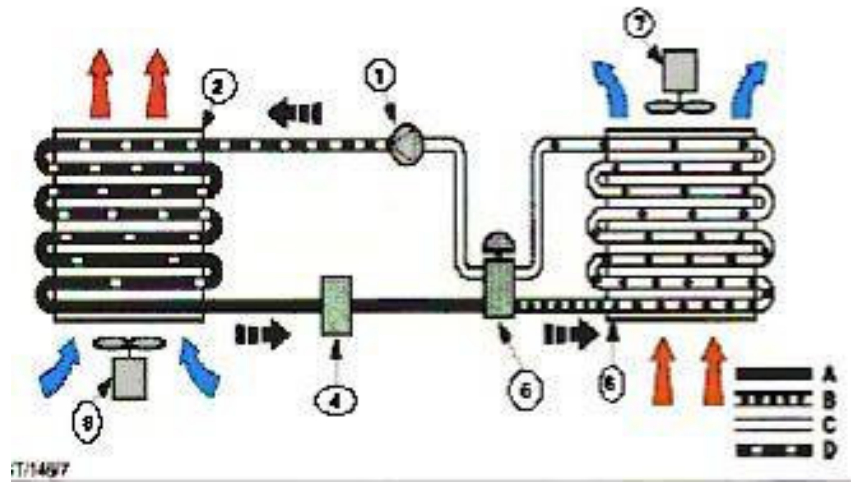


Obrázek 3.2 Systém s expanzní tryskou konstantního průřezu
[Říha 2008]

Funkce systému je umožněna stlačováním chladiva kompresorem (č.1), při čemž dochází k růstu teploty chladiva na hodnotu okolo 70-110°C. Chladivo je stlačeno do kondenzátoru (č.2), kde při této teplotě dochází průchodem vzduchu ke kondenzaci chladiva na kapalinu (č.3). Tento jev je doprovázen poklesem teploty a zároveň odebráním energie – tepla. Zkondenzované chladivo odchází přes expanzní trysku (č.4) do výparníku (č.5). Zde za prudkého poklesu tlaku dochází k poklesu teploty. Tohoto jevu je využito k odebrání energie – tepla z kabiny automobilu. Chladivo dále pokračuje do akumulátoru (č.6), což je součást, která v okruhu plní dvě funkce. První funkcí je zásobník kapalného chladiva, který je schopen vyrovnávat ztráty způsobené přirozenými úniky ze systému. Druhou funkcí je schopnost oddělovat kapalnou fázi od plynné fáze chladiva. Tento proces je nutný k zamezení nasátí kapalně fáze chladiva kompresorem, jenž by nutně vedl k jeho vážnému poškození. Kompresorem je dále chladivo nasáto, čímž je okruh uzavřen a může dojít k jeho cyklickému opakování.

3.1.2 Systém s expanzním ventilem

Druhým a v poslední době stále častěji používaným systémem, je systém s použitím expanzního ventilu. Příkladem tohoto systému je klimatizační sestava vyobrazená na obrázku č. 3.3.



Obrázek 3.3 Systém s expanzním ventilem [Říha 2008]

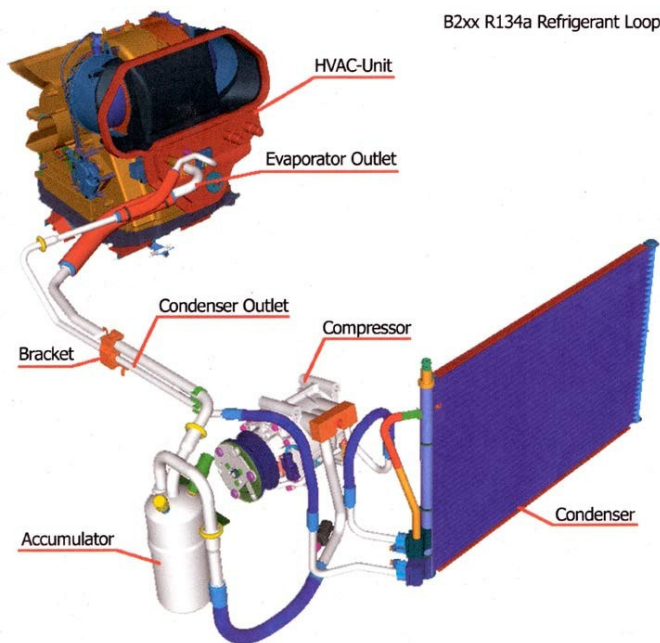
Funkce tohoto okruhu je velmi podobná předchozímu uspořádání jen s několika odlišnostmi. Chladivo, po stlačení kompresorem (č.1) a zkapalnění v kondenzátoru, přechází do dehydrátoru (č.4). Jedná se o malou nádobku, sloužící zároveň jako zásobník chladiva a odlučovač vlhkosti. Největším rozdílem tohoto systému je však použití právě expanzního ventilu (č.6). Tato součást je schopna svým proměnlivým škrcením průtoku, zamezovat proudění kapalného chladiva do výparníku a tím zabránit průchodu většího množství chladiva v kapalně fázi. Z tohoto důvodu již není nutné použití akumulátoru nebo jiné součásti, sloužící k odloučení kapalně fáze chladiva od plynné fáze. Uzavřením oběhu pak dochází průchodem chladiva z výparníku do expanzního ventilu a dále do kompresoru.

3.2 Technické provedení automobilové klimatizace

Jak již bylo napsáno, obecně lze rozdělit současně používané klimatizační systémy na dva hlavní typy. Prvním z nich je systém, kde je poklesu tlaku a tím i poklesu teploty dosaženo tzv. expanzní tryskou konstantního průřezu. U druhého typu klimatizačního okruhu je stejného jevu dosaženo tzv. expanzním ventilem s proměnlivým průřezem. Následující kapitola popisuje reálný klimatizační okruh automobilu Ford Fiesta.

3.2.1 Popis klimatizačního okruhu Ford Fiesta

Automobilový klimatizační okruh Ford Fiesta B2XX patří mezi vývojově starší typy klimatizačních okruhů s použitím akumulátoru kapalného chladiva. Z tohoto vyplývá také použití tzv. orifice trubičky, tj. expanzní trysky s konstantním průřezem. Celkový pohled na sestavu tohoto okruhu je vidět na obrázku č. 3.4. Popis jednotlivých dílů bude proveden v následujících kapitolách. V horní části obrázku je tzv. HVAC – unit, což je jednotka úpravy vzduchu ve vozidle, umístěná v palubní desce vozidla. Ve spodní části stejného obrázku lze pak dále vidět další komponenty okruhu, jako např. kondenzátor, kompresor, akumulátor a jednotlivá vedení.



Obrázek 3.4 Klimatizační sestava Fiesta B2XX [Říha 2008]

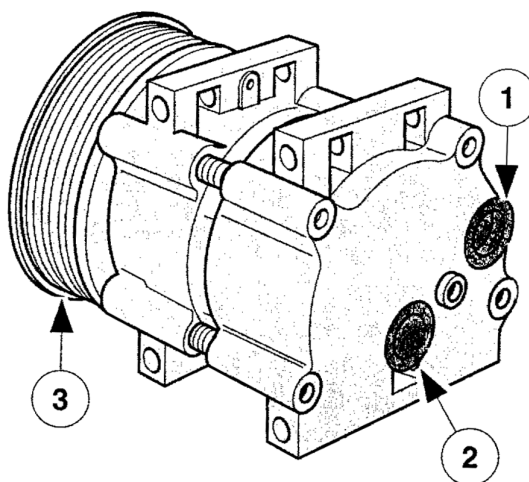
3.2.2 Kompresor

Nejdůležitější součástí klim. okruhu na který je kladen největší důraz a která je zároveň nejvíce vystavena mechanickému opotřebení, je kompresor. Svou činností uvádí do pohybu chladivo v systému a zároveň je místem přívodu energie do procesu chlazení. Z fyzikálního hlediska se jedná o převodník mechanické energie na termodynamickou. V současné době se v klimatizačních zařízeních automobilu nejčastěji používají tři základní typy kompresorů:

- S šikmou rotující deskou „swash plate“
- S kyvnou rotující deskou „wobble plate“
- Spirálový kompresor „scroll“

Typ kompresoru uvedený na třetím místě se v současnosti dostává do popředí zejména díky firmě Toyota. Výhodou je především zmenšení rázu z chodu kompresoru a z toho plynoucí delší životnost.

V klimatizačním okruhu malé Fiesty se nachází kompresor typu „swash plate“, tedy s šikmou rotující deskou. Na obrázku č. 3.5. je vidět vnější pohled na kompresor. Šipka s číslem 1 ukazuje na vstupní (sací) přípojně místo, šipka číslo 2 ukazuje na výstupní (výtláčné) místo a šipka č.3 ukazuje na místo připojení kompresoru k motoru přes motorový řemen.



Obrázek 3.5 Kompresor automobilové klimatizace [Říha 2008]

V tomto případě je připojení klimatizačního vedení ke kompresoru uskutečněno tzv. “manifoldem“. Jedná se o přípojný blok na nějž jsou připájeny obě vedení najednou, jak sací, tak výtlačná. Celé připojení je pojištěno pouze jedním šroubem. Jelikož je portikus šroubu (závit a kolík) umístěn excentricky, slouží také jako tzv. zámek, neboli pojistka proti nechtěné záměně obou vedení. Kompresor automobilové klimatizace je obvykle opatřen pojistným ventilem. Ten je umístěn těsně za pístky kompresoru nebo pokud je to vhodné, je přetlakový ventil umístěn na výtlačné straně připojeného manifoldu.

V tabulce č. 3.1 jsou seřazeny orientační hodnoty tlaků a teplot chladiva v klimatizačním okruhu. Jelikož jsou tyto orientační hodnoty vesměs dány termodynamickými vlastnostmi chladiva, lze říct, že se jedná o orientační hodnoty obecně platné pro automobilové klimatizační okruhy. V jednotlivých sloupcích jsou seřazeny hodnoty teploty a tlaku za normálního, pracovního a extrémního stavu, který může nastat v klimatizačním okruhu. V předposledním sloupci jsou vypsány hodnoty tlaku, jenž jsou považovány za limitní a jsou tedy spínačem tlaku vyhodnoceny jako stav, kdy je nutné odpojit kompresor. Po odpojení kompresoru je tlak postupně snižován postupným průchodem chladiva přes škrtící trubičku. V posledním sloupci je uvedena hodnota nastavení přetlakového ventilu. Tento ventil slouží jako poslední pojistka pro případ, že nedojde k odpojení kompresoru z důvodu selhání elektroniky. V tomto případě bude přetlak v okruhu snížen otevřením přetlakového ventilu a dojde tak k vypuštění horkého chladiva do okolí.

tabulka 3.1 Orientační hodnoty tlaků a teplot okruhu

| | Normální | Pracovní | Extrémní | Spínací | Pojistné |
|--------------------|----------|----------|-----------|-----------|------------|
| Vysokotlaká strana | 20 [°C] | 70 [°C] | 110 [°C] | 32 [bar] | 3,95 [bar] |
| | 5 [bar] | 17 [bar] | 23 [bar] | | |
| Nízkotlaká strana | 20 [°C] | 5 [°C] | 0 [°C] | 1,8 [bar] | ----- |
| | 5 [bar] | 3[bar] | 1,8 [bar] | | |

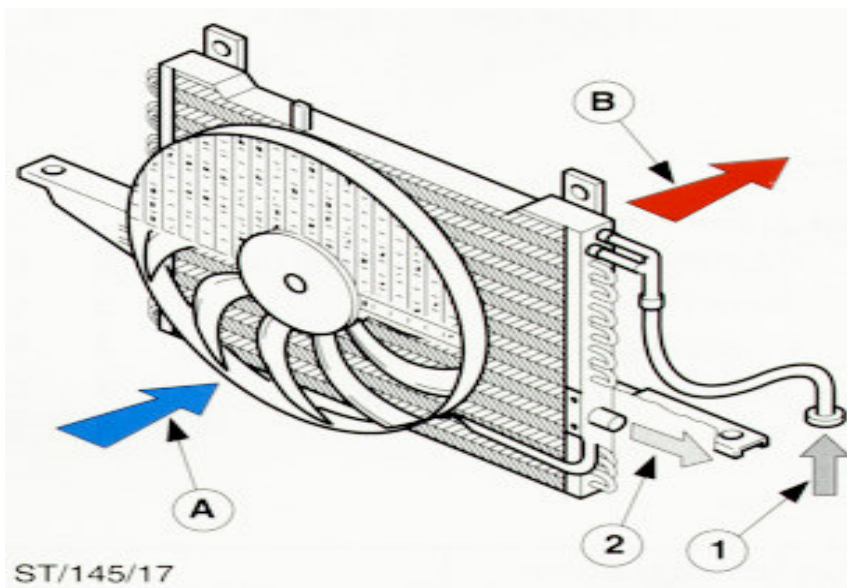
Podmínkou bezproblémového chodu kompresoru je jeho mazání. Pro automobilové kompresory se používají kompresorové oleje s názvem PAG nebo oleje POE, které jsou vývojově mladší. Výhodou druhého typu oleje je jeho řádově nižší pohltivost vlhkosti (především vzdušné). Vlhkost v olejích způsobuje chemickou reakci, která narušuje vnitřní vrstvu hadic klimatizačního vedení. Snížením vlhkosti v okruhu je zabezpečeno pohlcovačem vlhkosti v akumulátoru. Současné automobilové kompresory používají obvykle tyto dva základní typy kompresorových olejů, které se od sebe liší mimo jiné i viskozitou. Jejich vlastnosti jsou popsány ISO normou.

Konstrukce klimatizačního okruhu, jak již bylo popsáno, je řešena tak, aby nedošlo k nasátí kapalného chladiva do stlačeného prostoru kompresoru. Tento fakt by měl za následek jeho zničení nebo vážné poškození. Ideálním stavem je nasávání kompresoru syté až přehřáté páry chladiva. K zachycení přebytečného kapalného chladiva slouží akumulátor.

3.2.3 Kondenzátor

Další součástí klimatizačního okruhu, která následuje ve směru proudu chladiva, je kondenzátor. Tato součást slouží ke zkapalnění horkého chladiva odcházejícího z kompresoru. Při zkapalňování chladiva je odebíráno teplo a to buď samotným chodem vozidla (prouděním vzduchu přes lamely kondenzátoru), nebo pomocí přídavného ventilátoru, který je umístěn na přední části vozidla. Některé vozidla jsou vybaveny přídavným chladičem nasávaného vzduchu. Umístění klimatizačního „chladiče“ – kondenzátoru je však vždy před všemi těmito ostatními chladiči.

Příklad kondenzátoru je možno vidět na obrázku č. 3.6. Znovu je obrázek vybaven šipkami. Šipka s číslem 1 ukazuje na vstup do kondenzátoru. Tam postupně dochází ke kondenzaci chladiva. Ve spodní části kondenzátoru je obvykle obsaženo pouze kapalně chladivo, to odchází v místě se šipkou č.2. Dále je obrázek 3.6 opatřen šipkami A a B. Tyto šipky ukazují směr proudění vzduchu a sugestivně naznačují také teplotu, jakou tento vzduch má.



Obrázek 3.6 Kondenzátor automobilové klimatizace [Říha 2008]

Konstrukce kondenzátoru je obecně podobná konstrukci chladičů. Jedná se o síť velmi tenkých pásů, uvnitř kterých je malá dírka umožňující průchod chladiva. Obvykle je vyroben z hliníku, jenž kombinuje velmi dobré termodynamické vlastnosti s příznivou cenou. Spodní třetina kondenzátoru je konstrukčně oddělena od části, kde přichází plynná fáze chladiva z kompresoru. Toto opatření zajišťuje, že odcházející kapalně chladivo není mícháno s plynným chladivem. Výkon kondenzátoru závisí na mnoha faktorech. Ze zákaznického pohledu lze vypsát tyto základní.

- Teplota okolí
- Kvalita vzduchu proudícího kondenzátorem
- Čistota kondenzátoru

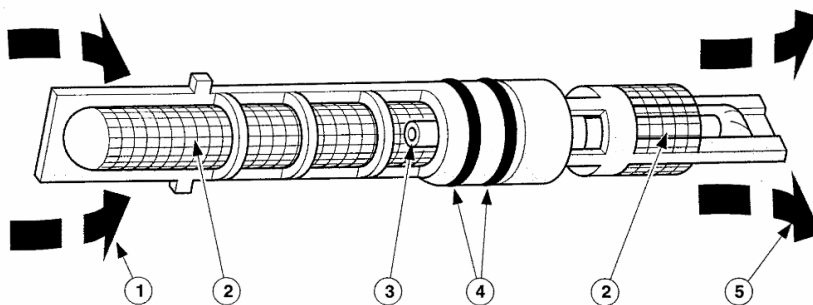
Zatímco třetí faktor lze aktivně ovlivnit, první dva obvykle ne. Mohou však sloužit jako vysvětlení pro případné výkyvy ve vnímaném výkonu celé klimatizace. Čistota kondenzátoru může také ovlivňovat účinnost konvenčního chladiče vodního okruhu motoru. Blok kondenzátoru je vybaven jedním nebo vícero přídatnými elektrickými ventilátory. Ventilátor se po zapnutí motoru roztočí na určitou počáteční rychlost. Ta je podle potřeby chlazení zvyšována, popřípadě jsou spouštěny další ventilátory.

3.2.4 Expanzní tryska

Skrz klimatizační vedení se kapalně chladivo dostává k tzv. expanzní trysce konstantního průřezu. Ta slouží ke splnění těchto úkolů:

- Rozděluje okruh na vysokotlakou a nízkotlakou část
- V závislosti na tlaku reguluje průtočné množství
- Udržuje chladivo ve vysokotlaké části v kapalném stavu
- Zajišťuje škrcení s následným poklesem tlaku na vstupu do výparníku
- Přídatná síťka filtrují chladivo od případných nečistot

Expanzní trysky se liší především vnitřním průměrem trubičky. Velikost vnitřního průměru trubičky není náhodná, nýbrž je dána výkonem klimatizačního okruhu a velmi výrazně ovlivňuje výsledný chladicí výkon okruhu. Vnitřní průměry používaných trubiček se obvykle rozlišují barvou samotných expanzních trysek. To je velice praktické zejména při opravách klimatizačních okruhů nebo při samotné montáži klimatizačního vedení. Rozdíly ve vnitřním průměru jsou obvykle pouze v desetinách milimetru a jsou tedy pouhým okem obtížně rozeznatelné. Jejich barevné rozlišení je z logických důvodů více než praktické. Na obrázku č. 3.7 je vidět příklad takovéto expanzní trysky.



Obrázek č. 3.7 Expanzní tryska [Říha 2008]

Popis Expanzní trysky:

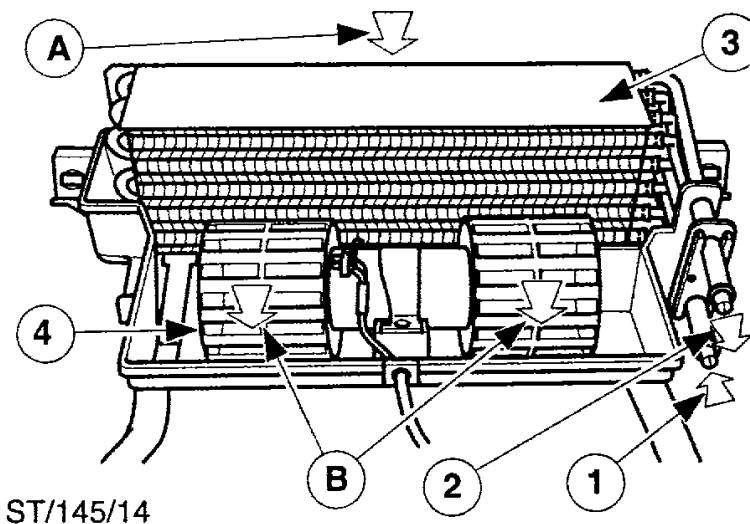
1. Směr vstupujícího chladiva (kapalná fáze – vysoký tlak, nižší teplota)
2. Čistící sítko
3. Vstup do redukční trubičky
4. Těsnící o – kroužky
5. Výstupní sítko – pomáhá také rozprášit vystupující chladivo (plynná fáze – nízký tlak, nízká teplota)

Expanzní tryska je vyrobena z teplotně odolného plastu a vnitřní trubička je kovová (mosazná). Celá tryska je při montáži zasunuta do klimatizačního vedení. K utěsnění trysky slouží dva vnější o–kroužky. Pokud dochází k uvolňování nečistot z vnitřního prostoru systému, snadno může dojít k zanesení trubičky. Tím samozřejmě dojde k zastavení chodu klimatizace. Typickým projevem této závady je pak velmi časté spínání a rozpínání spojky kompresoru, což vyplývá z faktu, že nedochází k postupnému poklesu tlaku chladiva přes trubičku. Kompresor ve velmi krátkém čase dosáhne hranice vypínacího tlaku. Následný velmi rychlý tlakový pokles je dán vyrovnáváním tlaku v okruhu zpět přes neběžící kompresor.

Velmi důležitým faktem je, že expanzní tryska nezplynuje všechno protékající chladivo. Vzniká proto směs kapalná a plynná fáze, která prochází skrz výparník a je proto velmi nebezpečná pro kompresor. Z tohoto důvodu je tento typ klimatizačního okruhu vždy vybaven tzv. akumulátorem kapalného chladiva.

3.2.5 Výparník

Po prudkém poklesu teploty chladiva, který je způsoben poklesem tlaku za expanzní tryskou, přichází chladivo do relativně malého tepelného výměníku nazvaného výparník, viz. obrázek č. 3.8. Tato součást má za úkol umožnit co možná nejlepší výměnu tepla mezi chladivem a vzduchem v kabině vozidla. V ideálním případě vstupuje chladivo do výparníku ve formě nasycené páry. Po ohřátí vzduchem z kabiny se mění na přehřátou páru. Při tomto procesu samozřejmě dochází k výměně tepla.



ST/145/14

Obrázek 3.8 Výparník [Říha 2008]

Popis výparníku:

1. Vstup do výparníku
 2. Výstup do výparníku
 3. Tělo výparníku
- A Vstup teplého vzduchu do výparníku
B Výstup chladného vzduchu z ventilátorů

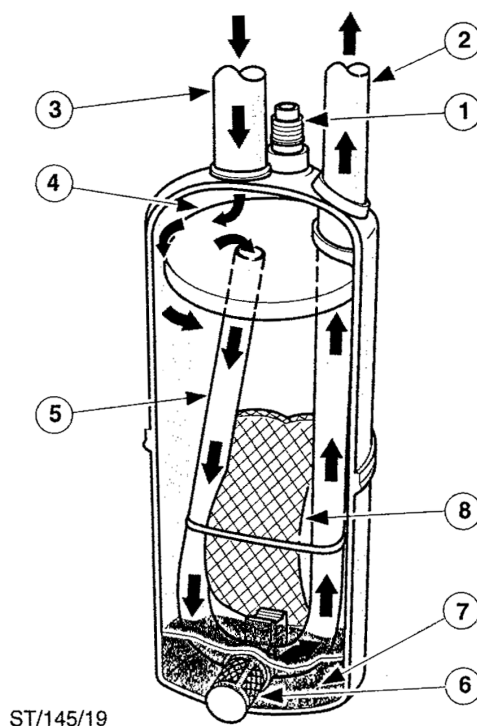
V důsledku poklesu teploty vzduchu v kabině dochází také k vysrážení vlhkosti v něm obsažené. Vysrážené kapičky vody jsou schopny vyfiltrovat částičky prachu ze vzduchu, což přináší další pozitivní vlastnost klimatizace automobilu jako celku. Vlhkost, která se zachycuje na mřížkách výměníku, stéká ke spodní části výparníku. Pod spodní částí je pro tento účel vytvořena odvodní hadička, která je schopna odvádět přebytečné kapičky vody pod vozidlo. Zejména v horkých letních dnech se velmi často vytvoří pod stojícím autem malá kaluž vysrážené vlhkosti z kabiny vozidla.

Obecně je zachycování vzdušné vlhkosti velice dobrou vlastností klimatizace. Této vlastnosti lze využít také v zimě k vysoušení zamlžených oken. Technicky však tato vlastnost přináší poměrně velký problém v podobě nebezpečí zamrznutí výparníku. Lamely výparníku jsou cíleně velmi malé a mezery pro proudící vzduch jsou také velice úzké. Malé kapičky vody mohou na těchto lamelách velice snadno zamrznout. Znemožnění průchodu teplého vzduchu z kabiny automobilu výparníkem ještě více zpomalí průchod chladiva výparníkem. To znemožňuje potřebné mazání kompresoru a proto je potřeba tomuto jevu zabránit. Většina výparníků je z tohoto důvodu vybavena samostatným snímačem teploty. Ten zajišťuje včasnou signalizaci limitního stavu a lze tak poměrně snadno předcházet tomuto nebezpečí.

3.2.6 Akumulátor

Jak již bylo napsáno, nevýhodou expanzní trysky fixního průřezu je nemožnost regulace procházejícího proudu chladiva v závislosti na množství jeho kapalné fáze. Z tohoto důvodu se do oběhu dostává určité množství kapalné fáze, která jak již bylo popsáno, je velmi nebezpečná pro kompresor. Aby se kapalná fáze chladiva nedostala do kompresoru, je vložena mezi něj a výparník další součást, která se nazývá akumulátor. Jeho obvyklou podobu je možné vidět na obrázku č. 3.9. Klimatizační akumulátor plní několik základních funkcí:

- Zadržuje vlhkost obsaženou v chladivu
- Filtruje pevné nečistoty
- Umožňuje plynulý chod chladiva – tlumí rázy od kompresoru
- Zajišťuje promísení oleje s chladivem
- Vytváří zásobu chladiva pro případné ztráty



ST/145/19

Obrázek 3.9 Akumulátor [Říha 2008]

Popis výparníku:

1. Konektor snímače tlaku
2. Výstup chladiva
3. Vstup chladiva
4. Deflektor
5. J–trubka
6. Filtr nasávaného chladiva
7. Zásoba kapalného chladiva
8. Sáček s vysoušedlem

V horní části obrázku č.16 je možno vidět tzv. deflektor. Tato obrácená miska slouží k rozstříknutí chladiva do prostoru akumulátoru a zároveň zabraňuje nasátí kapalného chladiva horní částí J–trubky. Chladivo je nasáváno J–trubkou pouze na dvou místech a to hlavně v horní části a v dolní přes filtr. Filtr je však překvapivě celý ponořený v kapalném chladivu. Důvodem je nutnost nasátí přiměřeného množství oleje a promíchání se s chladivem. Olej se samozřejmě zdržuje ve spodní části akumulátoru a je tedy nutné filtr konstrukčně upravit tak, aby zajišťoval jen určitou redukovanou průchodnost vhodnou pro tento účel. Zároveň je nutné kvalitně zajistit jeho fixování ve spodní části J–trubky, aby nedošlo k jeho uvolnění. Horní část akumulátoru je vybavena konektorem pro připojení snímače tlaku. Jedná se o velmi vhodné místo pro měření tlaku, jelikož toto místo je relativně málo zatíženo místními výkyvy a rázy kompresoru.

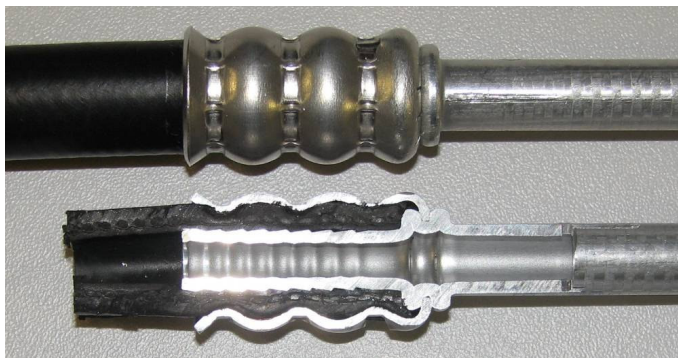
Zadržení vlhkosti v chladivu je umožněno použitím sáčku s vysoušedlem. Pro jednoduchost montáže je sáček opatřen tabletou, sloužící k obarvení chladiva. Nejčastěji se používá fosforeskující látka, která v případě netěsnosti na okruhu vytéká spolu s chladivem navenek. Po osvětlení speciální lampou je pak možné přesně identifikovat místo úniku chladiva, což je velice častým problémem pro každého opraváře klimatizací. Ze zkušenosti lze takto identifikovat pouze větší netěsnosti, umožňující průchod oleje přes netěsnost, ve které je fosforeskující látka velmi koncentrovaná.

Další důležitou funkcí akumulátoru je vytvoření zásoby chladiva. Žádný klimatizační systém není z hlediska těsnosti úplně dokonalý. I velmi těsné systémy je nutné po asi 3 – 5 rocích znovu doplnit. Aby se dosáhlo alespoň této periody, je potřeba vytvořit určitou zásobu chladiva pro případné úbytky. Pro tento účel je akumulátor velmi vhodný.

Posledním trendem v automobilové klimatizační technice je postupné upouštění od používání tohoto systému (s použitím akumulátoru a fixní expanzní trysky) a přechází se k používání expanzního ventilu s proměnným škrcením. Ten sice nevytváří nutnost použití akumulátoru, ale určitá zásoba se stejně někde v okruhu musí vytvořit. Obvykle se k tomuto účelu využilo tzv. vysoušedla, jež se umísťuje přímo na kondenzátor, kde určité množství kapalného chladiva z principu i tak musí být.

3.2.7 Klimatizační vedení

Klimatizační vedení je vytvořeno ze dvou hlavních součástí a to z hliníkových trubek a polymerických hadic. Jejich spojení je zajištěno tzv. crimpováním. Příklad crimpování je vidět na obrázku č. 3.10. Jedná se o proces zalisování hliníkové misky. Takto dojde k zafixování hadice ve správné poloze a to hlavně po natlakování systému chladivem.



Obrázek 3.10 Příklad crimpového spojení

Jednotlivé celky klimatizačního vedení se spojují speciálními spojkami. Tyto spojky jsou optimalizované pro snadnou montáž. Některé spojky použité na vozidle Ford Fiesta dokonce umožňují zpětnou kontrolu, jestli došlo k úplnému dosednutí pojistných zámků tak, aby nedošlo k samovolnému rozpojení vlivem špatné montáže.

3.2.8 Teplotní a tlakové snímače

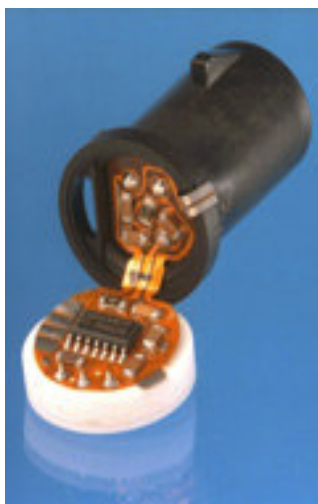
Teplotních a tlakových snímačů je široká škála a to dokonce i na jednom typu vozidla. Ty se mění v závislosti na vývoji vozidla a z hlediska klimatizace hlavně na použitém typu klimatizace. Jednoduchý klimatizační okruh, nevyžadující složitou elektroniku k řízení, je schopen velmi dobře pracovat pouze s tlakovým spínačem na kondenzátoru a teplotním snímačem na výparníku. Sledováním těchto veličin na příslušných pozicích, umožňuje dostatečné řízení chodu klimatizace v automobilu. Zatímco teplotní snímače nedoznaly s vývojem klimatizací zásadních principiálních změn, měření tlaku v klimatizačním okruhu se dnes posunulo od používání spínačů, k použití převodníků tlaku na elektrický signál.

Tlakové spínače se obvykle používají na nízkotlaké straně okruhu. Nízkotlaké spínače slouží k regulaci chodu kompresoru a vysokotlaké spínače jsou použity pro spínání přídatného ventilátoru na kondenzátoru.

U moderních automobilových klimatizací se dnes setkáváme spíše s převodníky tlaku na elektrický signál. Ty jsou použity pro řízení kompresoru, ventilátoru, kondenzátoru, nebo větráku chlazení prostřednictvím řídicí jednotky počítače. Na obrázku č. 3.11 je možné vidět příklad tlakového snímače a na obrázku č. 3.12 je možné vidět vnitřní provedení stejného snímače.



Obrázek 3.11 Tlakový snímač



Obrázek 3.12 Vnitřní provedení tlakového snímače

4 Technické požadavky na klimatizační snímače

Technické požadavky na vlastnosti snímačů klimatizačních okruhů jsou obecně orientovány na řízení, popř. kontrolu chodu klimatizačních jednotek. Jelikož celá klimatizační jednotka pracuje pouze se dvěma základními typy snímačů (teplotní a tlakové), je nutno technické požadavky na tyto typy od počátku orientovat. Technické požadavky na v současnosti používané snímače lze rozdělit do tří základních skupin, jež lze považovat za obecně – technické a tedy platné pro všechny tyto snímače bez rozdílu jejich principu.

- Požadavky výrobně – montážní
- Požadavky na vlastnosti měření
- Požadavky na odolnost

Samozřejmě je nutno kalkulovat s mnoha dalšími faktory, jako například požadavek na co možná nejnížší cenu a tím i konkurenceschopnost samotného snímače. Tento požadavek není úplně technický, lze jej však částečně zařadit do skupiny výrobně – montážní, se kterou i tak úzce souvisí. Dalšími faktory mohou být například požadavky na použitý typ snímačů. U teplotních snímačů je to především typ termistoru. Dnes je velmi často používán negativní termistor NT, jenž s klesající teplotou zvyšuje svůj odpor.

U tlakových snímačů se jedná především o požadavky, zda má být použito spínače (a to dvupolohového nebo třípolohového) nebo snímače (převodníku) schopného měření každé hodnoty tlaku v celém pracovním rozsahu klimatizace. Tyto požadavky vycházejí především z koncepce např. elektroniky automobilu nebo míry komfortu řízení klimatizace.

4.1 Požadavky výrobně – montážní

Požadavky kladené na jednotlivé snímače z výrobně – montážního pohledu jsou ty, jež mají vliv na efektivitu práce s těmito snímači od samého počátku výroby, až do doby, kdy jsou finálně namontovány na klimatizační systém. Požadavky lze proto rozdělit na tyto typy:

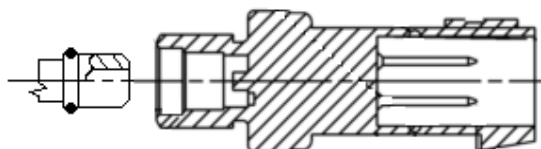
- Cena
- Snadná výroba a montáž
- Těsnost (snímače tlaku)

Na obrázku č. 4.1 jsou vidět příklady tlakových snímačů, jež jsou v současnosti používány v automobilových klimatizacích. Skládají se ze dvou základních částí. Horní část, která je zakončena konektorem elektrického připojení spolu s mechanicko–elektronickou částí snímače. Spodní část je vyhrazena konektoru připojení ke klimatizačnímu vedení. Z vnějšku je tato spodní část opatřena šestihranem pro snadné utažení na přípojný konektor a ve nitřní části je snímač vybaven vnitřním závitem pro připojení.



Obrázek 4.1 Příklady tlakových snímačů [Říha 2008]

Dalším požadavkem je požadavek na zajištění těsnosti, pokud možno nezávislé na síle utažení celého snímače. Tento požadavek je splněn, pokud je těsnění zajištěno na axiálních plochách o-kroužku. Tlak na o-kroužek je po celé délce zašroubovávání stejný a těsnicí schopnost tedy není ovlivněna silou utažení snímače. Silnější utažení je pak prováděno spíše jako pojištění proti samovolnému povolení snímače vlivem vibrací. Schématický náčrt spojení snímač – konektor – vedení je proveden na obrázku č. 4.2.



Obrázek 4.2 Tlakový snímač a konektor

4.2 Požadavky na vlastnosti měření

Požadavky na vlastnosti měřených hodnot je také velice důležitým faktorem. Na jedné straně je např. přesnost měření zásadní pro správný chod klimatizace a na straně druhé se zvyšující se přesností snímačů dost podstatně roste také jejich cena. Požadavky na vlastnosti měření snímačů klimatizačních okruhů lze rozdělit na:

- Požadavky na přesnost měření
- Požadavky na měřicí rozsah

Zatímco přesnost měření, např. teplotních snímačů je vždy dána hlavně vlastnostmi měřícího článku, popř. linearitou závislosti v našem případě odporu na změnách teploty, přesnost měření tlaku tlakových snímačů je komplikovanější a je ovlivněna vícero faktory. Od kvality zpracování tlakového snímače, zvoleného principu měření, atd. U tlakových spínačů je přesnost také dána odporem pružinky, která by se pokud možno nesměla po celou dobu životnosti spínače změnit. Přesnost tlakových snímačů je také dána prostředím ve kterém dochází k měření hodnot tj. vnější teplota, vibrace, atd. Vliv teploty na měřenou hodnotu tlaku je touto prací samostatně popsáno a experimentálně odzkoušeno.

Jako příklad měřícího rozsahu tlakového snímače, jenž je obvykle umístěn na vysokotlaké (výtláčné) straně okruhu, je od 0 – 500psia, což odpovídá rozsahu 0 až 35bar absolutního tlaku. Jak již bylo napsáno, nejvyšší tlak, kdy je nutné spínání ze strany elektroniky, je okolo 30bar. Snímač umožňuje tedy velmi malý přesah. Popis dalších vlastností tohoto snímače je proveden v následující kapitole měření.

Jako příklad měřícího rozsahu teplotního snímače lze uvést rozsah NTC snímače teploty ve výparníku, jenž je od -55°C do 150°C . Tento rozsah je samozřejmě dán vlastnostmi termistoru a vysoce přesahuje potřebný pracovní rozsah. Ten je opravdu podstatný od 0°C do 5°C . Tyto dvě teploty signalizují mezní stavy, jenž musejí být vyhodnoceny elektronikou k akčnímu zásahu. V případě výparníku se jedná o vypnutí kompresoru při teplotě pod 0°C do doby ohřátí systému. Důvodem je dříve popisované nedovolené zamrznutí výparníku.

4.3 Požadavky na odolnost snímačů

Odolnost snímačů je předmětem zkoušení a je jedním z hlavních parametrů při schvalování použití na vozidlech. K tomuto účelu jsou jednotlivé zkoušky rozděleny podle typu zatížení, kterému jsou zkušebně vystaveny. To jsou například:

- Chemická odolnost
- Odolnost proti vibracím
- Tepelná odolnost

Zatímco předchozí dvě skupiny požadavků jsou součástí konstrukční dokumentace a výkresu, třetí skupina vychází z tzv. zákaznických specifikací. Zde jsou souhrnně popsány zkoušky, které musí být navrhovaný výrobek schopen beze ztráty funkčnosti splnit. Obecně se jedná o postup schvalování výrobku nebo změny na výrobku pro použití na vozidle. Míra schopnosti snímačů odolávat těmto vlivům definuje jejich kvalitu a životnost.

Chemická odolnost výrobku (snímače) je zkoušena tzv. korozními zkouškami. Jedná se o zkoušky, kdy jsou celé sestavy klimatizačních vedení (spolu se snímači) vloženy do korozní komory a jsou vystaveny dlouhodobému působení korozivního prostředí. Koncentrace korozivních látek bývají vyšší, než je tomu v reálném prostředí. Lze takto zkrátit dobu zkoušení a přesto získat reálný obraz účinku koroze na klimatizační vedení po uplynutí doby funkčnosti výrobku. Orientační doba tohoto zkoušení se pohybuje okolo 20–30dnů. Na obrázku č. 4.3 je vidět příklad korozní komory sloužící k těmto zkouškám.



Obrázek 4.3 Korozní komora pro zkoušení korozní odolnosti [Weiss 2010]

Zkoušení odolnosti vibracím je další typickou zkouškou, jež je nutné úspěšně splnit pro dokončení schvalovacího procesu výrobku. Celý díl klimatizačního vedení je pevně připevněn k vibračnímu stolu. Poloha připojení vedení není náhodná. Musí přesně odpovídat poloze klimatizačního vedení na vozidle. Jelikož je reálné vedení pod neustálým tlakem, čímž dochází ke změně tuhosti celého vedení, je nutné také zkoušený vzorek tlakovat. U koncových výrobků zkoušených podle specifikace Ford se k tlakování používá dusík na hodnotu 32bar. Vibrace probíhají při pokojové teplotě po dobu 100hodin na frekvenci 30Hz až 32Hz s výchylkou 3,5mm. Tyto hodnoty odpovídají zrychlení asi 6,8G. Zajímavostí je, že stejné podmínky (hlavně tlakování) platí pro oba typy klimatizačních vedení a to jak pro vysokotlaké, tak hlavně pro nízkotlaké, kde takto vysoký tlak nemůže nikdy nastat. Na obrázku č. 4.4 je možné vidět vibrační zařízení spolu s uchyceným modulem HVAC.



Obrázek 4.4 Vibrační zařízení LDS [LDS 2010]

Zkoušení odolnosti vůči teplotám a hlavně změnám teplot se provádí za pomoci tzv. teplotních komor. Jednotlivá klimatizační vedení jsou naplněna předepsaným množstvím chladiva a jsou vložena do klimatizační komory. Ty jsou pak dále vystaveny cyklickým změnám teploty v rozmezí od -40°C do 125°C . Po skončení zkoušky jsou pak klimatizační vedení dále zkoušena hlavně na těsnost, jež má

potvrdit, že takto vystárnutá vedení, jsou stále plně funkční. Na obrázku č. 4.5 je vidět klimatizační komora vhodná pro takový typ zkoušek.



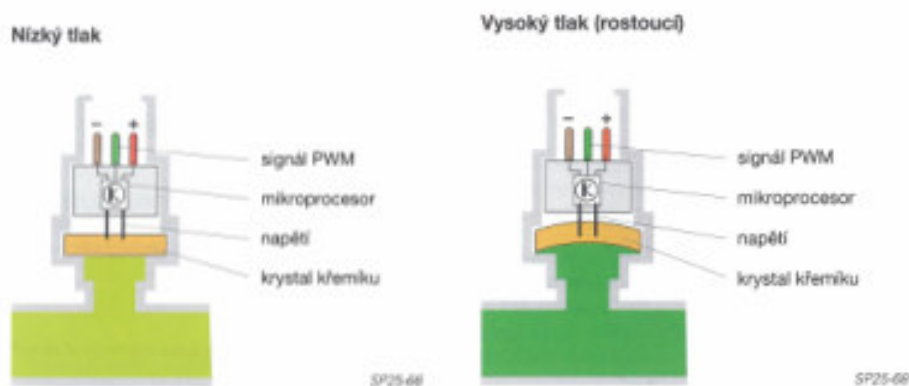
Obrázek 4.5 Teplotní komora [Weiss 2010]

4.4 Popis principu činnosti klimatizačních snímačů

Jak již bylo dříve zmíněno, u běžných automobilových klimatizačních okruhů se lze setkat pouze se snímači teploty a snímači tlaku. Oba tyto snímače slouží k řízení a kontrole chodu okruhu. Principy jejich činnosti budou popsány v následující kapitole.

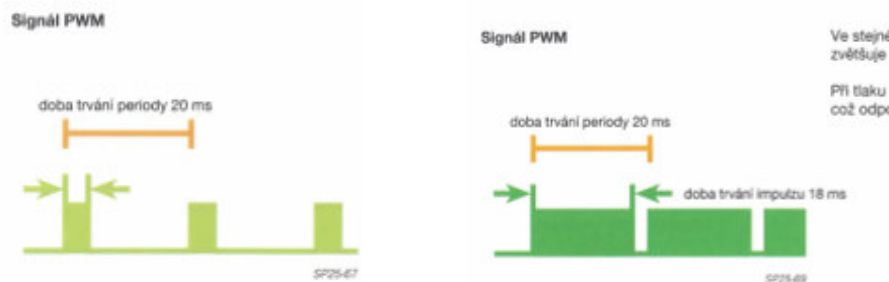
4.4.1 Princip snímače tlaku na klimatizačním okruhu

Snímače tlaku na klimatizačních okruzích jsou pod velmi silným tlakem výrobců klimatizací, zejména z pohledu ceny a mechanické odolnosti – hlavně odolnosti proti vibracím a teplotě. Způsobem, jak co možná nejvíce ušetřit na této součástce, je samozřejmě snížení přesnosti měření. K podrobnějšímu popisu snímače tlaku byl vybrán snímač běžně používaný na klimatizačních okruzích koncernu Volkswagen. Jedná se o převodník tlaku spolupracující s řídící jednotkou Klimatronic. Na obrázku č. 4.6 je možné vidět řez takového snímače. V levé části je schématicky znázorněno připojení snímače na vedení s nízkým tlakem a na pravé části obrázku je pak připojení snímače na vysoký tlak. Část, která se takto pod vlivem tlaku deformuje, se nazývá krystal křemíku. Jeho vlastností je, že při takovýchto změnách – deformacích, se mění jeho elektrický odpor. Tímto způsobem je tlak chladiva v okruhu převeden na elektrickou veličinu a je možné s tímto údajem dále pracovat.



Obrázek 4.6 Řez snímačem tlaku klimatizace [Škoda Auto 1998]

Specialitou jednotky Klimatronik je, že u snímačů tlaku nepracuje s elektrickou veličinou jako takovou (hodnotou odporu, popř. napětí), ale pracuje se změnou šířky impulsu. Kmitání přitom pracuje pořád na stejné frekvenci. Systém se nazývá PWM signál. Jeho jednoduché schéma je vidět na obrázku č. 4.7. Tento systém odesílání informace o tlaku v okruhu do řídicí jednotky není úplně obvyklý, některé automobilky, jako například FORD, používají systém převodu na napěťový signál 0,5V až 5V.



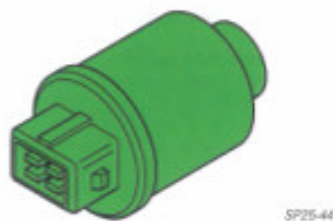
Obrázek 4.7 Signál PWM hodnoty tlaku zdroj [Škoda Auto 1998]

Z předchozích obrázků vyplývá, že převedení odporu na jednotkou zpracovatelnou hodnotu probíhá v každém snímači a to přímo v mikroprocesoru. Obvyklé umístění takového převodníku je na vysokotlakém (výtlačném) vedení.

Předzpracovaný signál se pak používá k vyhodnocení stavu chladiva v okruhu pro řídicí jednotku motoru a pro řídicí jednotku ventilátoru dochlazování. Výhodou je přesné přizpůsobení otáček motoru podle zatížení kompresorem, při volnoběhu a vylepšení přechodů při zapínání jednotlivých stupňů ventilátoru dochlazování. Tyto přechody jsou pak málo znatelné při běžném provozu klimatizace.

4.4.2 Princip spínače tlaku na klim. okruhu

Spínače tlaku jsou stále hojně používané v klimatizačních okruzích. Jejich funkce je především orientována na zabezpečení kontroly tří významných stavů. Příkladem spínače tlakových úrovní je vidět na obrázku č. 4.8. Na první pohled je patrné, že konektor používá čtyři elektrické vývody. Obvykle je to nejjednodušší způsob jak rozlišit mezi sebou spínač a snímač tlaku klimatizačního okruhu.



Obrázek 4.8 Spínač tlaku [Škoda Auto 1998]

Tabulka č. 4.1 ukazuje významné tlakové úrovně, jež je nutné pro dobrý chod okruhu hlídat. Zároveň poskytuje jednoduchou informaci o provedeném akčním zásahu, jenž je nutné vygenerovat jednotkou a jakého cíle je nutné dosáhnout. Každá řídicí jednotka automobilu má část paměti vyhrazenou pro evidenci chybových hlášení, které se během provozu vyskytly. Jejich vyvoláním pak velice usnadňuje rozpoznání závady nebo může naznačovat blížící se závadu většího rozsahu.

tabulka 4.1 Seznam spínaných tlakových úrovní spínače

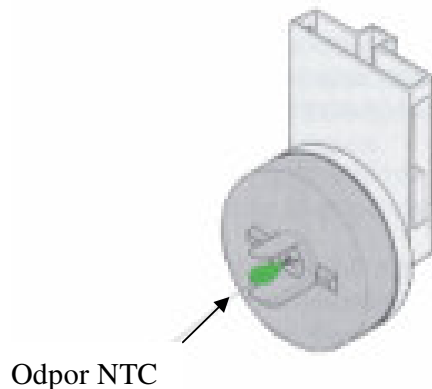
| Úroveň sepnutí spínače [bar] | Akční zásah | Cíl zásahu | Zápis do chybových hlášení jednotky |
|------------------------------|--|----------------------------------|-------------------------------------|
| < 2 | Odpojení klimatizace | Ochrana kompresoru | ano |
| > 16 | Sepnutí nejbližšího vyššího stupně dochlazování kondenzátoru | Optimalizace výkonu kondenzátoru | ne |
| > 32 | Odpojení klimatizace | Ochrana kompresoru | ano |

4.4.3 Princip teplotních snímačů na klimatizačním okruhu

Teplota je hlavní ovlivňovanou veličinou ve výsledku činnosti klimatizace. Z fyzikálních vlastností plynů obecně a tedy také vlastností chladiva, vyplývá přímá souvislost mezi tlakem a teplotou. S měřením tlaku přímo na klimatizačním okruhu lze tedy získat představu o teplotě klimatizačního média. Sledování teploty a tedy použití snímačů teploty mimo klimatizační okruh a je zaměřeno na sledování poměrů v kabině vozidla a také ve venkovním prostředí. Tyto údaje jsou pak použity jako vstupní hodnoty k regulaci v samotné řídicí jednotce. Velmi rozšířeným principem teplotních snímačů je použití tzv. negativních termistorů NTC. Jedná se o speciální materiály, jejichž vlastností je změna vnitřního odporu v závislosti na teplotě. U negativních termistorů se jedná o pokles odporu s rostoucí teplotou. Takto lze převést hodnotu teploty na elektrický signál a je možné s ním dále pracovat v řídicí jednotce.

K výrobě se obvykle používají oxidy kovů různých prvků, jako například (mangan, kobalt, měď, nikl...). Vlastní měřicí tělísko vzniká spékáním za vysoké teploty (okolo 1000°C). Jedná se o poměrně levné řešení snímání teploty a u velmi kvalitních termistorů lze dosáhnout vynikající přesnosti měření. Pozitivní termistory, obvykle platinové, jsou často používány ke kalibracím teploty.

Příklad v automobilu používaného snímače teploty typu NTC, je snímač na obrázku č. 4.9. Jedná se o snímač vzduchu přiváděného do nožního prostoru v kabině automobilu u klimatizačních okruhů a regulace VW–Klimatronik. Jak lze na obrázku vidět, samotný snímač je obecně velmi malý a to i v poměru k samotné součástce. Výhodou je mimo úspory materiálu snímače také rychlá odezva na změny teploty, vyplývající z velmi rychlého prohřátí objemu snímače.



Obrázek 4.9 Snímač teploty automobilové klimatizace [Škoda Auto 1998]

K regulaci teploty je použito vstupů dalších teplotních snímačů jako např. snímače vnější teploty, snímače v ovládacím panelu řídicí jednotky, snímač teploty vzduchu nasávaného z vnějšího prostředí atd.

Pro účely této práce je vhodné popsat si také snímače teploty použité pro měření teploty chladiva v následujících kapitolách. Jedná se vždy o pozitivní termistory, jenž jsou vloženy do zaslepené trubičky, viz obrázek č. 4.10. Na druhém konci trubičky lze vidět teplotně odolný elektrický kabel. Tyto snímače jsou typu PT100 což znamená, že hodnota výstupního odporu při 0°C je právě rovna 100Ω . Pro velmi přesná měření se vždy používají snímače ve čtyř–vodičovém provedení, které umožňuje kompenzaci výsledné hodnoty teploty.



Obrázek 4.10 Snímač teploty pro laboratorní měření na klim. Okruzích [Rawet 2010]

Rozsah měřených hodnot (tzv.pracovních teplot) je od -50 do $+400^{\circ}\text{C}$, což je rozsah, který je více než dostatečný pro všechna měření na klim. okruzích. Reálný teplotní rozsah je u některých typů měření (kde je nutné držet při pracovní teplotě i přívodní kabel) snížen na povolený teplotní rozsah přívodního kabelu. Ten bývá obvykle podstatně nižší.

5 Měření tlaku na klimatizačních komponentách

Cílem tohoto měření je reálné porovnání parametrů přesnosti měření snímače tlaku, běžně používaného na klimatizačním vedení a velmi přesného profesionálního snímače tlaku. Pro začátek je na obrázku č. 5.1 vyobrazen přesnější tlakový snímač DMP 343 české firmy BD Sensors. Jedná se o piezoresistivní polovodičový tlakový snímač s velmi dobrými parametry, co se týče přesnosti, linearity, dlouhodobé stability, teplotní stability atd. Jeho obvyklé použití je např. v průmyslu k řízení technologických procesů, ve zkušebních zařízeních atd. Na obrázku č. 5.2 je vidět běžný snímač tlaku obvykle používaný na klimatizačních okruzích. Základní údaje o obou použitých snímačích jsou vidět v tabulce č. 4.2.



Obrázek 5.1 Tlakový snímač BD Sensors [BD Sensors]



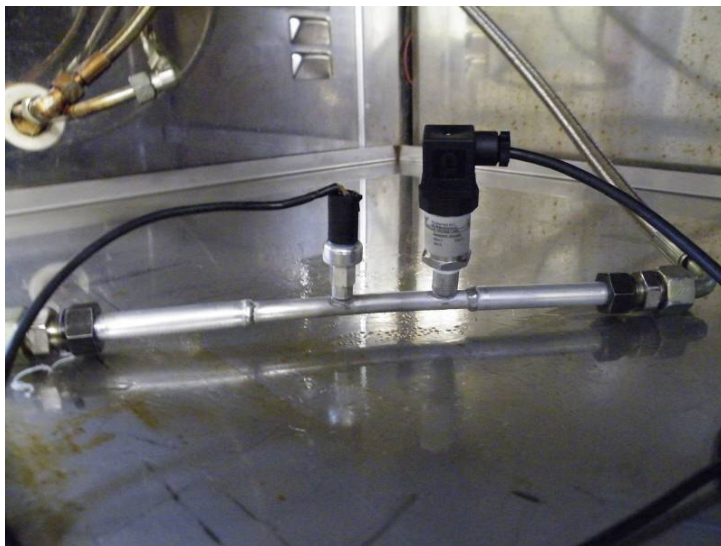
Obrázek 5.2 Tlakový snímač klimatizačního vedení

tabulka 4.2 Tabulka vlastností snímačů

| | Vstupní napětí [V] | Výstupní napětí [V] | Rozsah měření [bar] | Přesnost měření [%] FSO |
|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|
| Zkoušený snímač | 5 | 0,5 - 4,5 | 0 - 35 | nezjištěno |
| BD Sensors DMP 343 | 24 | 0 - 10 | 0 - 40 | $\pm 0,35$ |

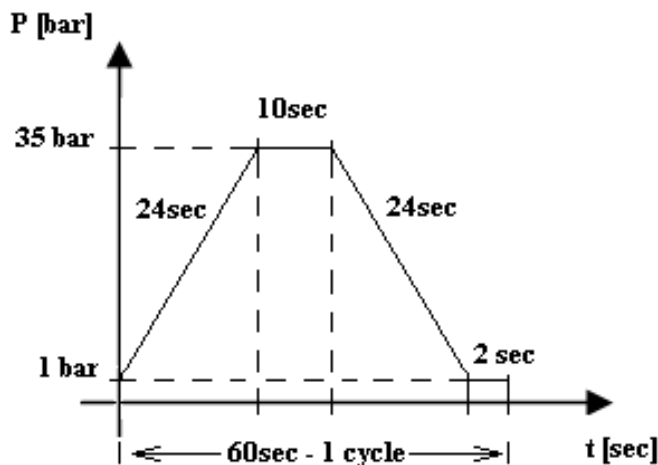
5.1 Měření na pulzačním zařízení

K posouzení přesnosti je nutné vystavit oba tlakové snímače stejnému zatížení a takto získané výsledky porovnat. K tomuto účelu bylo nutné vytvořit speciální vzorek, na který lze oba snímače připojit. Na obrázku č. 5.3 je možné vidět zkoušený vzorek. Jedná se o hliníkový přípravek, kde jsou přivařeny oba konektory pro snímače a oba konce jsou upraveny pro připojení k pulzačnímu zařízení.



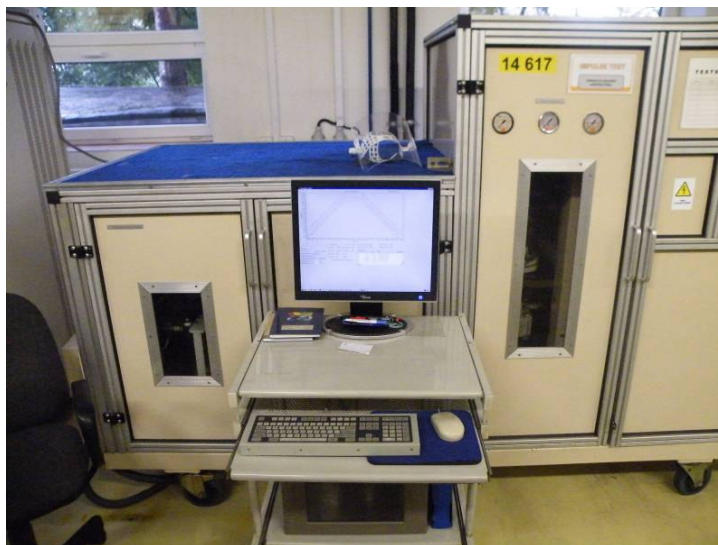
Obrázek č.5.3 Zkoušená sestava snímačů tlaku

Celé měření bylo provedeno na pulzačním zařízení sloužícím k vytvoření tlakových pulsů. Pro tento účel bylo zařízení naprogramováno k vytvoření dvaceti cyklických pulsů, jenž by pokryli co možná největší část tlakového rozsahu klimatizačního snímače. Pulzační zařízení není schopné vytvářet tlak nižší než okolní. Proto tlakové pulsy začínají na hodnotě 1 bar. Cílem zkoušky je zhodnotit chybu měření tlaku v klimatizačním okruhu, kde nižší než okolní tlaky stejně nejsou zajímavé a proto lze tento fakt pominout. Na obrázku č. 5.4 lze vidět průběh tlakového pulsu, spolu s jeho časovým rozvrhem. Každý tlakový puls je dlouhý jednu minutu a vytváří tlak v rozsahu 1bar až 35bar.



Obrázek 5.4 Tlakový puls

Takto předem vytvořené zadání tlakového pulsu bylo vloženo do pulzačního zařízení, které je vidět na obrázku č. 5.4. Programování probíhá přes klasické PC, kde je ještě nutné definovat šířku povolených (limitních) tlakových odchylek od zadaného profilu. Toto zadání však při takto krátkých zkouškách, kde je obsluha přítomna po celou dobu, nemá příliš velký význam. Počet tlakových pulsů byl nastaven na 20 cyklických opakování.



Obrázek 5.5 Pulzační zařízení

Pro sběr dat z měření byl předem připraven dataloger FLUKE, PC s nainstalovaným softwarem pro sběr a předzpracování naměřených dat a zdroj obou potřebných napětí pro oba snímače. Tyto součásti jsou dále vidět na obrázku č. 5.6.

Tato sestava umožňuje připojení až dvaceti různých snímačů s elektrickým výstupem. Zařízení FLUKE bylo nastaveno na odečítání vždy dvou hodnot za jednu sekundu. Důvodem tohoto relativně dlouhého intervalu odečítání je délka pulsu 60 sekund. To znamená, že výsledkem je 120 hodnot na jeden tlakový puls.

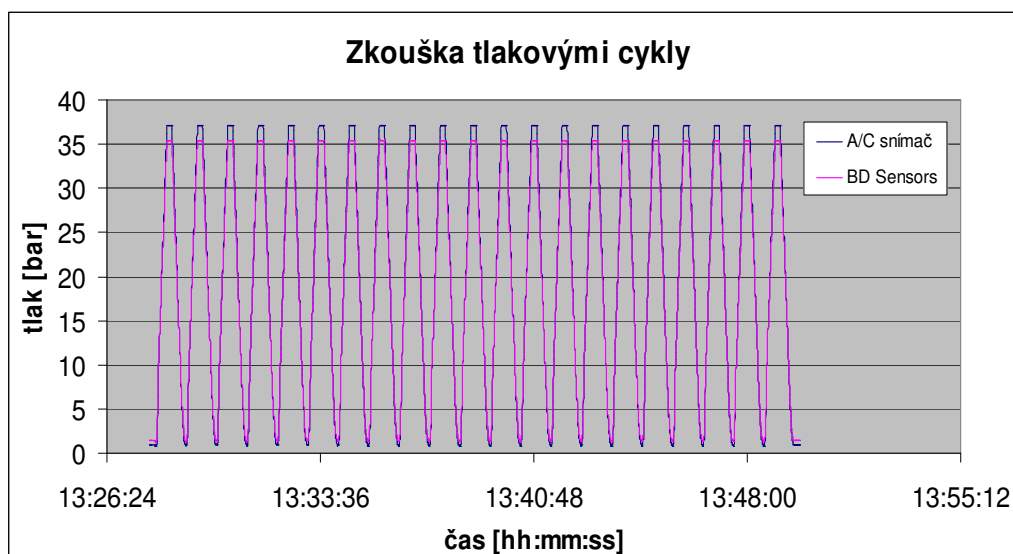


Obrázek 5.6 Sestava pro sběr naměřených dat

Snímače byly pak propojeny podle svých specifikací elektrického připojení a celá zkouška byla zpuštěna.

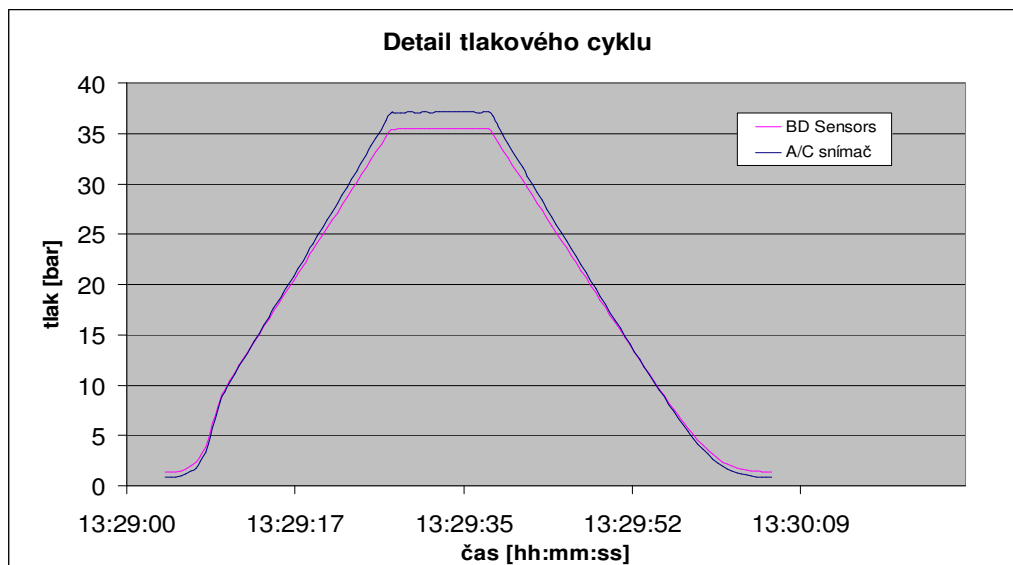
5.2 Vyhodnocení výsledků měření

Výsledkem měření je průběh dvaceti jednotlivých tlakových pulsů tak, jak byly postupně logovány během měření. Výsledný graf celého měření je pak vidět na obrázku č. 5.7.



Obrázek 5.7 Záznam průběhu zkoušky

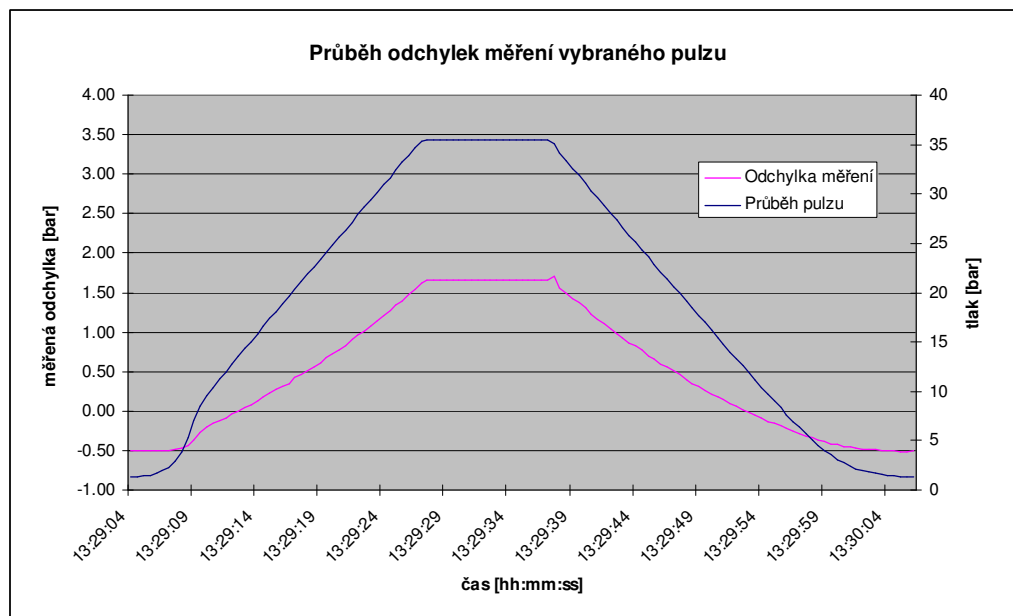
Pro větší názornost byla vytvořena zvětšenina jednoho tlakového pulsu. Lze tak lépe vizuálně porovnat rozdíly v naměřených hodnotách. Takto připravený puls je vidět na obrázku č. 5.8.



Obrázek 5.8 Záznam jednoho cyklu zkoušky

Z průběhu je patrné, že přesnost klimatizačního snímače není velká. Pokud budeme uvažovat hodnoty naměřené kalibrovaným snímačem BD Sensors jako přesné, potom odchylka od přesné (skutečné) hodnoty tlaku, měřené druhým snímačem, je hlavně na okrajích jeho rozsahu. Jelikož se jedná o vysokotlaký snímač, přesnost jeho měření je důležitá v rozsahu asi 10-30bar. Z měření vyplynulo, že v tomto rozsahu jsou výsledky dobré, největší odchylka je při hodnotě zatížení 35 bar a to okolo 1,6 baru mezi jednotlivými snímači.

Z rozdílů hodnot mezi jednotlivými snímači lze vytvořit graf. Pro větší názornost byl do grafu přidán průběh zatížení měřený snímačem BD Sensors. Výsledný průběh odchylek je vidět na obrázku č. 5.9.



Obrázek 5.9 Průběh odchylek měření a zatížení

Zhodnocení celého měření lze vytvořit v souladu s postupem popsaným souhrnnou normou IEC 60770. Zde jsou definovány postupy výpočtu jednotlivých charakteristik přesností, jako je například linearita, opakovatelnost, nepřesnost nebo chyba měření. Poslední z nich je údaj, kterým lze oba snímače porovnat. Jako předpoklad je nutno považovat hodnoty měřené BD senzorem jako tzv. konvenčně správné. Nejdříve je nutné vytvořit tabulku procentních chyb k výstupnímu rozpětí. Jednotlivé hodnoty jsou vypočteny podle vzorce (5.1). Z jednotlivých výsledků lze pak sestavit tabulku, viz. tabulka č. 5.1. Zde jsou uvedeny jednotlivé hodnoty procentních odchylek a jsou dále rozděleny na vzestupný a sestupný směr změny tlaku. Celé měření je podle předpisu vyhodnocováno pokud možno v celém rozsahu měřidla a ve více než 6 bodech. Dále je vyhodnocení prováděno po teplotním ustálení měřidla a po více než třech pracovních „zahřívacích“ cyklech. Norma také doporučuje použití nejméně tří cyklů měření nahoru a dolů z rozpětí. V našem případě bylo použito pěti cyklů.

$$e = \frac{Y_{odměřená} - Y_{ideální}}{Y_{\max} - Y_{\min}} \cdot 100 \quad (5.1)$$

| | | |
|--------|----------------|---------------------------------------|
| kde je | e | procentní odchylka |
| | $Y_{odměřená}$ | výsledná hodnota posuzovaného snímače |
| | $Y_{ideální}$ | konvenčně správné hodnota tlaku |
| | Y_{\max} | maximální hodnoty z rozsahu |
| | Y_{\min} | minimální hodnota z rozsahu |

tabulka 5.1 Tabulka procentních chyb z výstupního rozpětí

| Pořadí měření | Chyby v % výstupního rozpětí | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|----------------|
| | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | Průměr | | Průměrná chyba |
| | nahoru | dolů | nahoru | dolů | nahoru | dolů | nahoru | dolů | nahoru | dolů | nahoru | dolů | |
| 1 | -1.44 | -1.31 | -1.48 | -1.37 | -1.39 | -1.37 | -1.49 | -1.38 | -1.48 | -1.32 | -1.46 | -1.35 | -1.40 |
| | -1.44 | -1.28 | -1.49 | -1.32 | -1.39 | -1.36 | -1.49 | -1.36 | -1.49 | -1.28 | -1.46 | -1.32 | -1.39 |
| 2 | -1.45 | -1.22 | -1.50 | -1.29 | -1.39 | -1.33 | -1.49 | -1.30 | -1.47 | -1.21 | -1.46 | -1.27 | -1.36 |
| | -1.45 | -1.17 | -1.49 | -1.23 | -1.38 | -1.28 | -1.50 | -1.27 | -1.49 | -1.16 | -1.46 | -1.22 | -1.34 |
| | -1.45 | -1.10 | -1.50 | -1.17 | -1.36 | -1.26 | -1.49 | -1.22 | -1.49 | -1.10 | -1.46 | -1.17 | -1.31 |
| 3 | -1.45 | -1.04 | -1.48 | -1.11 | -1.36 | -1.21 | -1.47 | -1.16 | -1.49 | -1.03 | -1.45 | -1.11 | -1.28 |
| | -1.43 | -0.97 | -1.46 | -1.03 | -1.31 | -1.16 | -1.43 | -1.09 | -1.48 | -0.94 | -1.42 | -1.04 | -1.23 |
| | -1.42 | -0.90 | -1.42 | -0.98 | -1.22 | -1.09 | -1.40 | -1.02 | -1.46 | -0.86 | -1.38 | -0.97 | -1.18 |
| 4 | -1.40 | -0.80 | -1.38 | -0.91 | -1.01 | -1.01 | -1.31 | -0.95 | -1.43 | -0.81 | -1.31 | -0.89 | -1.10 |
| | -1.34 | -0.73 | -1.28 | -0.80 | -0.74 | -0.96 | -1.17 | -0.87 | -1.40 | -0.71 | -1.19 | -0.82 | -1.00 |
| | -1.22 | -0.64 | -1.09 | -0.74 | -0.56 | -0.89 | -0.92 | -0.79 | -1.33 | -0.62 | -1.02 | -0.73 | -0.88 |
| 5 | -1.03 | -0.55 | -0.86 | -0.64 | -0.42 | -0.80 | -0.68 | -0.71 | -1.15 | -0.54 | -0.83 | -0.65 | -0.74 |
| | -0.76 | -0.46 | -0.66 | -0.54 | -0.28 | -0.71 | -0.56 | -0.62 | -0.89 | -0.44 | -0.63 | -0.56 | -0.59 |
| | -0.57 | -0.38 | -0.54 | -0.46 | -0.16 | -0.63 | -0.43 | -0.54 | -0.71 | -0.33 | -0.48 | -0.47 | -0.48 |
| 6 | -0.45 | -0.25 | -0.38 | -0.36 | -0.07 | -0.53 | -0.31 | -0.43 | -0.57 | -0.23 | -0.36 | -0.36 | -0.36 |
| | -0.34 | -0.16 | -0.28 | -0.27 | 0.08 | -0.43 | -0.20 | -0.34 | -0.43 | -0.11 | -0.23 | -0.26 | -0.25 |
| | -0.23 | -0.04 | -0.18 | -0.12 | 0.19 | -0.36 | -0.11 | -0.23 | -0.32 | 0.00 | -0.13 | -0.15 | -0.14 |
| 7 | -0.11 | 0.05 | -0.05 | -0.05 | 0.26 | -0.27 | 0.04 | -0.12 | -0.22 | 0.10 | -0.02 | -0.06 | -0.04 |
| | 0.00 | 0.16 | 0.04 | 0.08 | 0.42 | -0.14 | 0.18 | -0.02 | -0.10 | 0.21 | 0.11 | 0.06 | 0.08 |
| | 0.11 | 0.27 | 0.19 | 0.22 | 0.56 | -0.05 | 0.26 | 0.08 | 0.04 | 0.32 | 0.24 | 0.17 | 0.20 |
| 8 | 0.25 | 0.42 | 0.30 | 0.28 | 0.70 | 0.04 | 0.41 | 0.20 | 0.14 | 0.43 | 0.36 | 0.27 | 0.32 |
| | 0.38 | 0.51 | 0.42 | 0.43 | 0.80 | 0.17 | 0.56 | 0.30 | 0.29 | 0.54 | 0.49 | 0.39 | 0.44 |
| | 0.50 | 0.61 | 0.55 | 0.54 | 0.96 | 0.30 | 0.66 | 0.44 | 0.43 | 0.68 | 0.62 | 0.51 | 0.57 |
| 9 | 0.66 | 0.74 | 0.73 | 0.65 | 1.09 | 0.40 | 0.79 | 0.54 | 0.53 | 0.82 | 0.76 | 0.63 | 0.70 |
| | 0.80 | 0.89 | 0.84 | 0.78 | 1.21 | 0.55 | 0.96 | 0.69 | 0.64 | 0.93 | 0.89 | 0.77 | 0.83 |
| | 0.89 | 1.01 | 0.92 | 0.91 | 1.37 | 0.66 | 1.08 | 0.83 | 0.81 | 1.06 | 1.01 | 0.89 | 0.95 |
| 10 | 1.00 | 1.13 | 1.08 | 1.04 | 1.54 | 0.79 | 1.20 | 0.92 | 0.93 | 1.22 | 1.15 | 1.02 | 1.09 |
| | 1.20 | 1.33 | 1.21 | 1.18 | 1.65 | 0.90 | 1.32 | 1.09 | 1.07 | 1.33 | 1.29 | 1.16 | 1.23 |
| | 1.32 | 1.45 | 1.37 | 1.32 | 1.83 | 1.01 | 1.52 | 1.18 | 1.20 | 1.47 | 1.45 | 1.29 | 1.37 |
| 11 | 1.46 | 1.58 | 1.51 | 1.46 | 1.95 | 1.14 | 1.64 | 1.34 | 1.36 | 1.62 | 1.58 | 1.43 | 1.51 |
| | 1.60 | 1.72 | 1.69 | 1.58 | 2.13 | 1.30 | 1.83 | 1.49 | 1.51 | 1.76 | 1.75 | 1.57 | 1.66 |
| | 1.76 | 1.88 | 1.83 | 1.72 | 2.28 | 1.44 | 1.90 | 1.63 | 1.64 | 1.93 | 1.88 | 1.72 | 1.80 |
| 12 | 1.93 | 1.99 | 1.97 | 1.85 | 2.44 | 1.65 | 2.11 | 1.78 | 1.83 | 2.06 | 2.06 | 1.87 | 1.96 |
| | 2.06 | 2.20 | 2.11 | 2.03 | 2.55 | 1.72 | 2.29 | 1.92 | 1.90 | 2.19 | 2.18 | 2.01 | 2.10 |
| | 2.22 | 2.34 | 2.30 | 2.21 | 2.75 | 1.88 | 2.42 | 2.06 | 2.11 | 2.37 | 2.36 | 2.17 | 2.27 |
| 13 | 2.38 | 2.48 | 2.47 | 2.31 | 2.97 | 2.02 | 2.60 | 2.21 | 2.27 | 2.55 | 2.54 | 2.31 | 2.43 |
| | 2.58 | 2.63 | 2.64 | 2.47 | 3.13 | 2.19 | 2.77 | 2.40 | 2.41 | 2.70 | 2.71 | 2.48 | 2.59 |
| | 2.73 | 2.81 | 2.77 | 2.66 | 3.28 | 2.36 | 2.95 | 2.55 | 2.61 | 2.85 | 2.87 | 2.65 | 2.76 |
| 14 | 2.91 | 2.98 | 2.95 | 2.80 | 3.45 | 2.49 | 3.08 | 2.71 | 2.79 | 3.05 | 3.04 | 2.80 | 2.92 |
| | 3.06 | 3.16 | 3.16 | 3.01 | 3.66 | 2.63 | 3.27 | 2.88 | 2.94 | 3.20 | 3.22 | 2.98 | 3.10 |
| | 3.25 | 3.32 | 3.33 | 3.19 | 3.86 | 2.83 | 3.48 | 3.05 | 3.10 | 3.37 | 3.40 | 3.15 | 3.28 |
| 15 | 3.43 | 3.49 | 3.52 | 3.35 | 4.04 | 2.99 | 3.70 | 3.21 | 3.31 | 3.56 | 3.60 | 3.32 | 3.46 |
| | 3.63 | 3.73 | 3.70 | 3.51 | 4.23 | 3.15 | 3.85 | 3.42 | 3.48 | 3.77 | 3.78 | 3.52 | 3.65 |
| | 3.82 | 3.91 | 3.92 | 3.75 | 4.44 | 3.34 | 4.06 | 3.59 | 3.68 | 3.93 | 3.98 | 3.70 | 3.84 |
| 16 | 3.97 | 4.07 | 4.07 | 3.91 | 4.70 | 3.54 | 4.23 | 3.78 | 3.87 | 4.12 | 4.17 | 3.88 | 4.03 |
| | 4.20 | 4.25 | 4.33 | 4.09 | 4.75 | 3.70 | 4.46 | 3.97 | 4.09 | 4.35 | 4.36 | 4.07 | 4.22 |
| | 4.43 | 4.46 | 4.52 | 4.29 | 4.76 | 3.88 | 4.72 | 4.14 | 4.23 | 4.54 | 4.53 | 4.26 | 4.40 |
| 17 | 4.66 | 4.90 | 4.72 | 4.47 | 4.76 | 4.09 | 4.69 | 4.36 | 4.49 | 4.70 | 4.66 | 4.50 | 4.58 |

Souhrn jednotlivých výsledků je vypsán podle druhu zjišťované vlastnosti:

- **Chyba měření (measured error)**

Chyba měření je hodnota největší průměrné odchylky (v absolutní hodnotě) z průměrných chyb měření ve směru zatížení nahoru a dolů. V našem případě je **chyba měření 4,66%** při výstupním signále 100%. V tabulce č.5.1 jsou hodnoty označeny modře.

- **Nepřesnost (inaccuracy)**

Ze stejné tabulky lze snadno určit tzv.nepřesnost. Jedná se o největší kladnou a zápornou odchylku, určenou z chyb při jednotlivých měřeních ve směru zatížení nahoru a dolů, v procentech výstupního rozpětí. V našem případě je to **nepřesnost +4,90%** a záporná hodnota **-1,5%**. Obě hodnoty jsou v tabulce 5.1 označeny červeně.

- **Hystereze (hysteresis)**

Jedná se o rozdíl mezi chybami výstupu pro stejnou vstupní veličinu, z měření ve směru vzestupu a sestupu tlaku. Zaznamená se hodnota určená ze všech vyhodnocovaných měřících cyklů. V našem případě je hodnota **hystereze 4,70% - 3,54% = 1,17%**. V tabulce 5.1 jsou hodnoty označeny zeleně.

- **Neopakovatelnost (non-repeatability)**

Jedná se o rozdíl mezi krajními hodnotami výstupních hodnot změřených při stejné vstupní veličině. Podmínkou je, že tyto hodnoty pocházejí z relativně krátkého časového intervalu a z měření ve stejném směru změny tlaku. Určuje se přímo z tabulky č.3 tak, že najdeme maximální rozdíl mezi všemi hodnotami chyb pro jednu vstupní hodnotu a samostatně pro směr tlaku nahoru i dolů. Výsledkem je největší rozdíl z těchto hodnot.

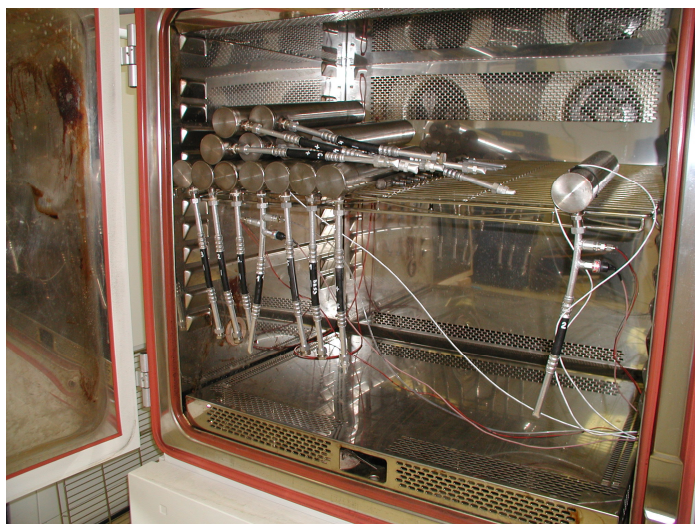
V našem případě se jedná o hodnoty 4,70% (zeleně) a 3,87% (žlutě). Obě hodnoty v tabulce 5.1. Výsledkem je **neopakovatelnost 0,83%**.

Výsledná chyba měření je tedy méně než 5%. Tím je zároveň splněna podmínka, že chyba použitého přístroje pro zhodnocení přesnosti, musí být menší než $\frac{1}{4}$ chyby zkoušeného přístroje. Vysoká nepřesnost snímače je samozřejmě dána jeho použitím na automobilovém klimatizačním okruhu a vysokým tlakem na cenu tohoto komponentu.

Další pokusné měření bylo provedeno za účelem zjištění, zda klimatizační snímače jsou schopny poskytovat výsledky i za extrémních teplot. Konstrukce těchto malých snímačů není příliš robustní a nenapovídá jejich použití za extrémních podmínek. Obvyklé vnější teploty pro měření tlaku profesionálních snímačů nepřesahují 70°C. Tento údaj vychází např. z datových listů dříve použitého snímače BD Sensors (model DMP343) nebo maximálně 80°C z datového listu velkého výrobce tlakových snímačů firmy WIKA (model A-10). Za těchto teplot je výsledná hodnota tlaku kompenzována vnitřními obvody snímače. Cílem této zkoušky je vyzkoušet vlastnosti obyčejného klimatizačního snímače za teplot okolo 125 °C a -30°C. Jedná se o maximální teploty, jež jsou předepsány při schvalovacích zkouškách pro klimatizační vedení. Cílem je tedy ověřit schopnost snímače pracovat i při takto nepříznivých teplotách. Z logického úvahy vyplývá, že důležitá je pouze vyšší teplota, kdy je předpoklad použití klimatizace v automobilu. Ověření tedy spočívá v schopnosti snímače měření i po průchodu touto teplotou.

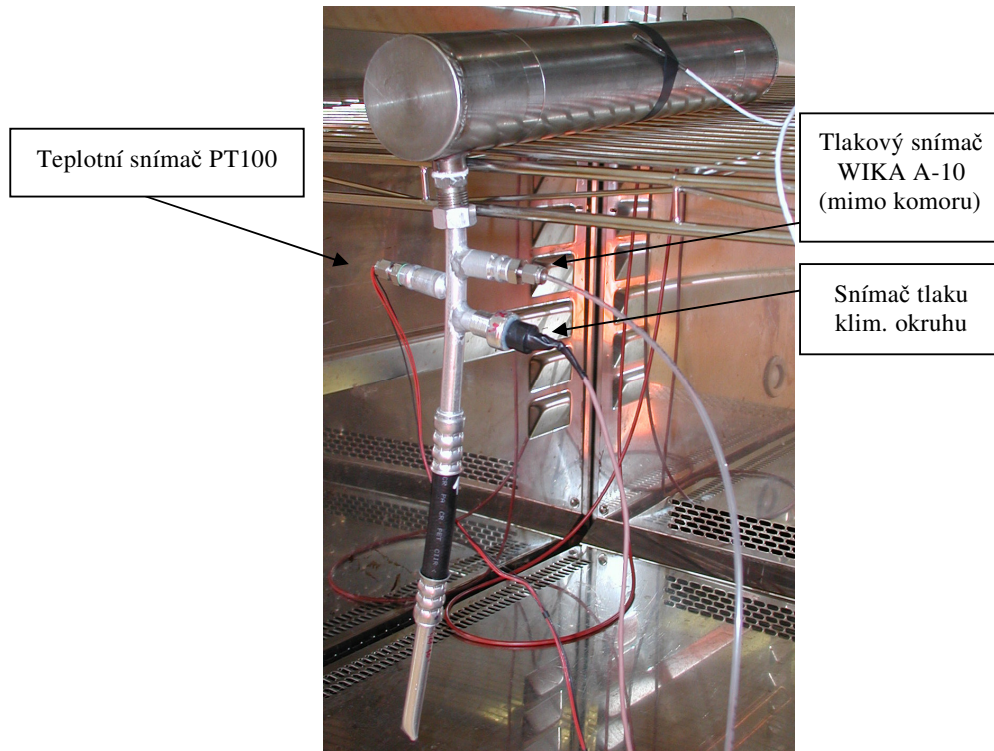
5.3 Měření v teplotní komoře

Měření bylo provedeno za použití klimatizační komory Weiss, viz obrázek č. 5.10. Na pravé straně obrázku lze vidět speciálně upravenou sestavu zásobníku chladiva a vzorku.



Obrázek 5.10 Klimatizační komora a zkoušené vzorky

K účelu zkoušky byl vytvořen speciální vzorek, viz. obrázek č. 5.11. Na tento vzorek byly připojeny jednotlivé snímače. Na levé straně vzorku je to teplotní snímač PT100, který je zasunut dovnitř vzorku a utěsněn vnějšími kroužky. Připojení je uskutečněno čtyř–vodičově a tedy s kompenzací hodnoty. Na pravé straně vzorku je vidět jak samotný klimatizační tlakový snímač, tak hadička vedoucí mimo teplotní komoru a připojující tlakový snímač WIKA. Toto provedení zajišťuje teplotní oddělení snímače WIKA od vlivů uvnitř komory. Celý speciální vzorek je připojen k zásobníku chladiva. Ten slouží k vyvozování tlaku odpovídajících jednotlivým teplotám, kterými celá sestava projde. Množství chladiva bylo speciálně spočteno tak, aby jím vyvozený tlak při 125°C byl okolo 20bar.



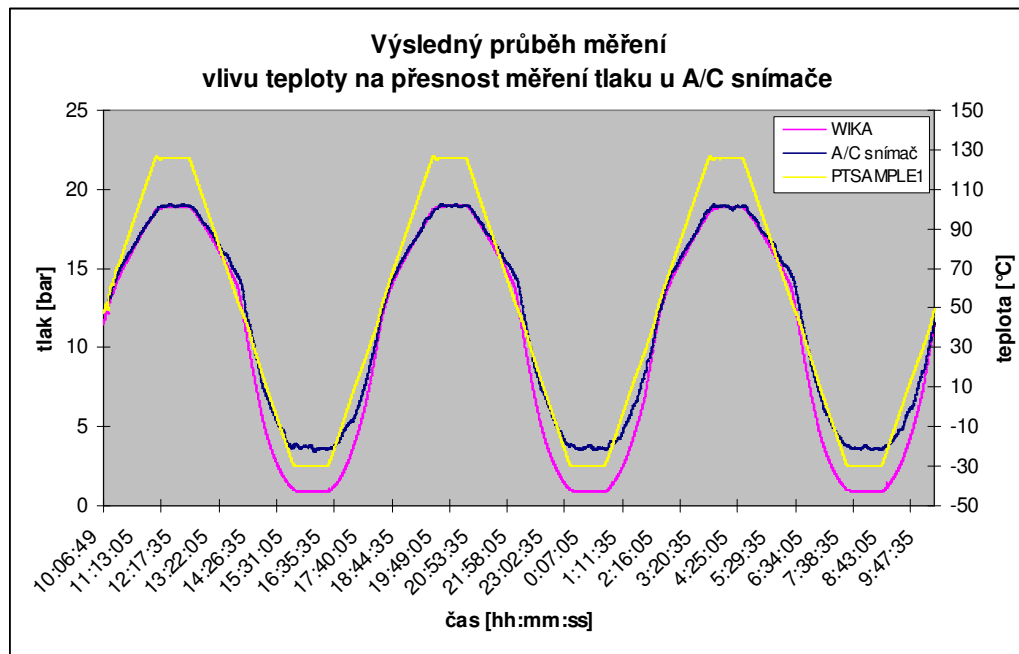
Obrázek 5.11 Speciální vzorek k měření teplotních vlivů

Pro logování hodnot je použito stejné sestavy, jakou je možno vidět na obrázku č.35. Znovu je použito datalogeru FLUKE, umožňujícího připojení všech tlakových a teplotních snímačů najednou, včetně kompenzovaného zapojení teplotního snímače PT100. Nastavení datalogeru a předzpracování dat probíhá opět na standardním notebooku.

Poté byl v teplotní komoře naprogramován teplotní profil cyklující mezi teplotami od -30°C do 125°C. Celý test byl spuštěn a bylo zapnuto logování hodnot.

5.4 Vyhodnocení výsledků měření

Změny teplot v komoře vyvozovaly uvnitř sestav změny tlaku. Ty byly postupně měřeny oběma snímači. Výsledkem je pak cyklický průběh teplot a času tak, jak je vidět v grafu na obrázku č. 5.12. Pro větší názornost byl průběh teploty přidán do výsledného grafu tak, aby bylo názorné, při jakých teplotách vznikaly největší odchylky mezi oběma snímači tlaku.



Obrázek 5.12 Graf výsledných hodnot měření

Výsledkem tohoto měření není jediná hodnota a ani její následné porovnání. Závěry z tohoto měření lze vypsát do jednotlivých bodů:

- Měřené hodnoty tlaku jsou si velice podobné pouze v pásmu nad hodnoty okolo 7 až 10 bar.
- V pásmu asi okolo 0°C a níže, je měření klimatizačním snímačem velice nepřesné a pravděpodobně nepoužitelné. Jak již bylo uvedeno, v tomto pásmu není snímače potřeba a tato vlastnost pravděpodobně není na škodu.
- Dalším závěrem z měření je fakt, že jednoduchý klimatizační snímač je použitelný i v nejvyšších požadovaných teplotách okolo 125°C. Tento závěr je velice zajímavý, protože obvyklé kvalitní tlakové snímače nejsou schopny tuto teplotu bez poškození vydržet.
- Při měření lze také vypořizovat zajímavý jev, ke kterému dochází při teplotě okolo 70°C. Z grafu je patrná změna v úhlu (rychlosti) poklesu (vzestupu) tlaku. Dokonce je místo této změny velice zjevné. Tento jev je pravděpodobně způsoben vyčerpáním kapalně fáze chladiva v zásobníku při vzestupu tlaku a další vzestup tlaku je způsobován pouhým roztahováním plynu chladiva. Při poklesu teploty dochází k opačnému jevu a místo prvního zkapalnění chladiva je také patrné na grafu.

6 Měření na laboratorním klimatizačním okruhu

Cílem poslední praktické části práce je provedení měření vybraných veličin na laboratorním klimatizačním okruhu. Laboratorní okruh klimatizace se od praktického okruhu z pohledu jeho stavby a použitých dílů neliší. Rozdílem je, že simulace jízdních podmínek, např. chod auta, je nahrazen protiproudem vzduchu, svit slunce (teplé prostředí) v kabině je simulováno přívodem teplého vzduchu na výparník, pohon kompresoru motorem automobilu je nahrazen pohonem elektromotoru.

6.1 Laboratorní klimatizační okruh

Zařízení zkonstruované k tomuto účelu se nazývá Systémový stand. Příklad velmi komplikovaného systémového standu, jenž je schopen simulace velkého množství provozních veličin, je možné vidět na obrázku č. 6.1.



Obrázek 6.1 Systémový stand

Zařízení je situováno na VŠB Ostrava a je dnes používáno ve spolupráci s Moravskoslezským Automobilovým Klastrem. Na tomto obrázku lze vidět dvě oddělené komory. Levá z nich je určena pro výparníkovou část okruhu a pravá komora je určena pro kondenzátorovou část okruhu. Pro obě tyto části je připravováno teplotně vlhkostní médium samostatně (teplota, rychlost proudění a množství vlhkosti). Příprava média probíhá v technologické části zařízení, jež je umístěna za stěnou systémového standu, viz obrázek č. 6.3. Pro kvalitu získaných výsledků je velice důležitá kvalita úpravy tohoto média v technologické části. Proto byl kladen veliký důraz právě na tuto část zařízení. Úprava média probíhá ve dvou fázích. První část slouží k hrubému a druhá část velmi jemnému doladění splnění zadaných parametrů. Použitá zařízení jsou na velmi vysoké technické úrovni. Také proto je toto zařízení unikátní a je poměrně hojně využíváno členy klastru k měření provozních parametrů klimatizačních jednotek.



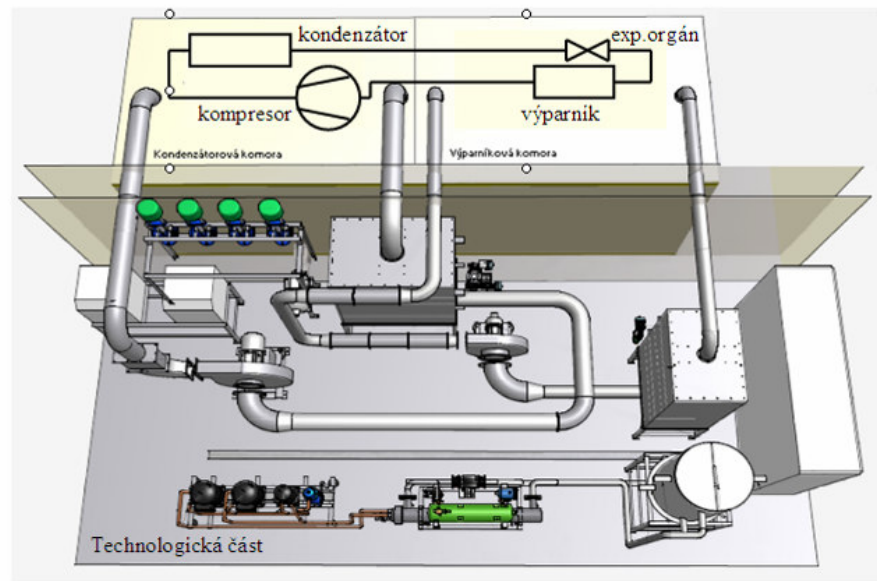
Obrázek 6.2 Technologická část Systémového standu

Příklady oblastí použití Systémového standu:

- Experimentální vyšetřování chování kompletních chladicích a klimatizačních systémů za reálných pracovních podmínek – správné nastavení akčních prvků okruhů a řídicích algoritmů.
- Měření výkonnostních charakteristik celých okruhů, či jednotlivých komponent – chladicí výkon, příkon kompresoru, energetická efektivnost celého okruhu či jednotlivých komponent.
- Měření výkonnostních parametrů jednotlivých komponentů – tepelný výkon, tlakové ztráty.
- Využití jak pro stávající chladiva R134a, tak i pro jiná chladiva (R404, R1234yf, atd.), uvažovaná v návaznosti na zpřísněné legislativní požadavky evropské unie (Directive 2006/40/EC)
- Měření speciálních parametrů a jevů:
 - vliv distribuce mazacího oleje – do budoucna se počítá s možností měření množství cirkulujícího oleje
 - zkoumání hlukových projevů systémů
 - měření charakteristik jednotlivých komponent (tlaková ztráta, výkon...)
 - měření celkové energetické náročnosti – viz požadavky EU komise projednávání nových legislativních požadavků na snížení celkových CO₂ emisi z automobilů

Nastavení vstupních veličin k simulaci jízdních podmínek probíhá na ovládacím počítači. Odtud jsou jednotlivé změny v nastavení přeposílány do PLC, jež slouží k řízení celého zařízení.

Pro snazší pochopení celé sestavy systémového standu může sloužit obrázek č. 6.3. V horní části je vidět sestava měřeného okruhu s přívody a odtahy regulovaného média, za stěnou pak dříve zmiňovaná technologická část standu.



Obrázek 6.3 Schématické rozvržení Systémového standu a měřeného obvodu

6.2 Účel a popis laboratorního měření

Ke vzorovému měření na laboratorním klimatizačním okruhu byla vybrána zkouška nalezení ideálního množství chladiva k vybranému systému klimatizace. Tato zkouška je běžně nazývána jako „charge test“. Důvody výběru této zkoušky jsou dva. Prvním z nich je, že zkouška jako taková je velmi důležitá pro většinu typů laboratorních měření. Charakteristiky jednotlivých komponent jsou obvykle určovány za podmínek, jež jsou pro daný okruh obvyklé (běžně používané). Dodržení ideálního plnicího množství chladiva ve všech měřeních, kde například periodicky měníme jen jednu komponentu, je velmi důležitý faktor, bez něhož není možné dosáhnout podmínek k porovnání výsledného chodu klimatizace nebo např. výkonnostních charakteristik jednotlivých okruhů ve vztahu k této měněné komponentě. Druhým důvodem proč byl zvolen tento typ zkoušky je, že pro jeho splnění je nutné osvojit si měření všech veličin obvyklých pro měření na klimatizačních okruzích a dále je potřeba osvojit si výpočty hlavních charakteristik jednotlivých komponent, jež s těchto reálných měření vycházejí.

Obvyklý postup laboratorního měření pro určení ideálního plnicího množství vychází z postupu, kdy je okruh plněn chladivem po předem definovaných krocích a vždy na určitém kroku jsou určovány jeho hlavní charakteristiky. Primární výslednou charakteristikou okruhu pro zhodnocení ideálního plnicího množství, je porovnání obou dříve popisovaných účinností s průběhem výsledných hodnot podchlazení a přehřátí chladiva. Oba typy účinností ovšem neukazují stejnou vlastnost okruhu. Účinnost COP_{REF} je z principu počítána jako poměr mezi výkonem na výparníku a výkonem na kompresoru. Účinnost COP_{IN} je počítána jako poměr mezi teplem odebraným výparníkem a přivedeným kompresorem. Porovnáváním těchto hodnot při různých plněních lze získat představu o využití energie vstupujícího a vystupujícího z klimatizačního systému a tím získat představu o efektivitě využití energie přeměňované kompresorem.

K měření na laboratorním okruhu byly vybrány běžně používané komponenty z klimatizačního okruhu automobilu Ford Mondeo (výparník, kondenzátor, kompresor, TXV ventil). Vzhledem k podmínkám sestavení celého okruhu, nebylo možné měření s použitím běžných propojovacích vedení tohoto automobilu. Bylo

proto nutné použít speciálně připravených vedení, kterými byli jednotlivé komponenty propojeny. Výsledkem měření bude tedy pouze teoretická hodnota ideálního plnění příslušející pouze k aktuálně sestavenému okruhu.

Aby bylo možné provést jednotlivá porovnání mezi měřeními, bylo nutné nastavit nejdůležitější vstupní podmínky zkoušky. Tyto podmínky vycházejí ze zadání, jež se pro tyto účely používá a jež vycházejí z průměrných reálných podmínek zaznamenaných na reálných klimatizačních okruzích v automobilu. Seznam těchto vstupních veličin je možné vidět v tabulce č. 6.1. Jedná se především o hmotnostní průtok chladiva, teploty a vlhkosti na kondenzátoru a výparníku. Poslední hodnotou pro nastavení běhu okruhu jsou otáčky kompresoru. Co možná nejpresnější dodržení těchto hodnot výrazně zpřesňuje měření a samozřejmě i naopak.

tabulka 6.1 Vstupní parametry měření

| | Hmotnostní průtok [kg/h] | Teplota [°C] | Vlhkost [%] |
|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|----------------|
| Výparník (vstup vzduch) | 650 | 43 | 40 |
| Kondenzátor (vstup vzduch) | 2712 | 45 | 40 |
| Kompresor RPM [1/min] | 1800 | | |
| Množství oleje PAG [%] | 3 | | |

Hodnoty brané do výpočtu je nutné průměrovat z měření trvajících okolo 5-7 minut. Dosažení ustáleného chodu laboratorní klimatizace, jež je pak možné považovat za vhodné pro výpočet, je velice obtížné a zdoluhavé. Pro dosažení jednoho ustáleného stavu bylo zapotřebí cca 45min až jedné hodiny. Tento čas však předpokládá naprosto bezproblémový průběh měření, kterého obvykle dosáhne pouze velmi zkušený operátor zařízení. Obvyklou komplikací bývají například netěsnosti okruhu, nastavení systému, atd.

Pro první měření byla stanovena hodnota plnění 800g chladiva R134a. Každé další plnění bylo uskutečněno tak, aby se plnicí množství zvýšilo o cca 30g až 50g. Tento rozptyl je dán faktem, že přesné plnění systému chladivem je z principiálního hlediska obtížné. Výhodou však je, že přesnost určení hodnoty, která byla opravdu naplněna do okruhu, je určena s přesností maximálně $\pm 5g$. Pro účel měření však tento údaj není směrodatný a výsledkem této zkoušky není jedna hodnota, ale rozsah hodnot, kdy je systém schopen nejvyšší účinnosti ve vztahu k množství chladiva uvnitř. Rozbor výsledků bude proveden později. Poslední zvolená hodnota plnění vychází z vyhodnocení, kdy je už zřejmé, že každé další měření již nepřináší zlepšení sledovaných vlastností okruhu.

6.3 Zpracování výsledků měření

Při každém měření jsou data zaznamenávána po celou dobu chodu zařízení. Data, která jsou vhodná pro vyhodnocení, jsou vyexportována do excelu pro další

zpracování. Záznam probíhá v jednosekundových intervalech. Délka těchto bloků je 5-7 minut záznamu. Takovýchto hodnot je poměrně hodně (jen snímačů teploty je na výparníkové části okolo 50-ti) a práce s nimi není snadno přehledná. Je velmi vhodné používat pro tyto účely standardizované vzory excelovských tabulek a předem zkontrolovaným maker, které zamezí záměně dat z různých zdrojů. Jednotlivá data jsou průměrována podle jednotlivých snímačů. Tyto hodnoty jsou pak brány jako vstupní pro souhrnnou tabulku v níž jsou uvedeny spočtené parametry získaného okruhu. Příklad výsledků z měření s plněním chladiva 800g je vidět v tabulce č. 6.2.

tabulka 6.2 Příklad výsledků měření s plněním 800g

| Sample | | AP_740mm_2bents | | | | |
|-------------------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|-----------------|---------|--------|
| | | Date | | 15.7.2009 | | |
| Used components | | Charges | | | | |
| Compressor | Visteon-Ford Mondeo | Refrigerant (R134) [g] | 800 | | | |
| Condenser | Ford Mondeo | Oil (PAG) [%] | 3% | | | |
| HVAC | Ford Mondeo | | | | | |
| Valve | TXV C3 | | | | | |
| Measured Values | | Reguest | Actual | Measured Values | Reguest | Actual |
| Air characteristics | | | Compressor Values | | | |
| T air Evap in [°C] | 43 | 40.24 | RPM [1/min] | 1800 | 1793.06 | |
| T air Evap out [°C] | - | 16.59 | Torque [N/m] | - | 15.23 | |
| T air Cond in [°C] | 45 | 45.50 | P_comp inside [bar] | - | 0.00 | |
| T air Cond out [°C] | - | 59.73 | El.motor power [kW] | - | 2.86 | |
| Air_Massflow_Evap [kg/h] | 650 | 647.79 | Cond_Subcooling | - | 0.37 | |
| Air_Massflow_Cond [kg/h] | 2712 | 2702.88 | Evap_Superheat | - | 8.94 | |
| Humidity air Evap [%] | 40 | 39.87 | Coax HP in_SC | - | 0.60 | |
| Humidity air Cond [%] | 40 | 39.65 | Coax_LP_in_SH | - | 12.01 | |
| Temperatures [°C] | | | Pressures [bar] | | | |
| T Comp in | - | 31.36 | P Comp in | - | 3.13 | |
| T Comp out | - | 109.28 | P Comp out | - | 18.26 | |
| T Cond in | - | 108.21 | P Cond in | - | 17.75 | |
| T Cond out | - | 60.93 | P Cond out | - | 0.00 | |
| T_TXV_in | - | 10.67 | P_TXV_in | - | 17.34 | |
| T_Evap_in | - | - | P_Evap_in | - | - | |
| T_Evap_out | - | 15.08 | P_Evap_out | - | 3.64 | |
| T_TXV_out | - | - | P_TXV_out | - | - | |
| T_Coax_HP_in | - | 60.69 | P_Coax_HP_in | - | 17.34 | |
| T_Coax_HP_out | - | 51.64 | P_Coax_HP_out | - | - | |
| T_Coax_LP_in | - | 16.79 | P_Coax_LP_in | - | 3.47 | |
| T_Coax_LP_out | - | 33.57 | P_Coax_LP_out | - | - | |
| Differential pressures [mbar] | | | Refrigerant | | | |
| HP_side | - | 60.24 | Massflow [kg/h] | - | 179.78 | |
| LP_side | - | 60.32 | Oil concentration [%] | - | 3 | |
| Enthalpy [kJ/kg] | | | Enthalpy [kJ/kg] | | | |
| Comp in | - | 426.2 | Comp out | - | 483.5 | |
| Cond in | - | 483.0 | Cond out | - | 289.0 | |
| TXV in | - | 274.0 | Evap out | - | 410.3 | |
| Coax_HP_in | - | 288.6 | Coax_HP_out | - | 274.0 | |
| Coax_LP_in | - | 412.3 | Coax_LP_out | - | 428.6 | |
| Coax tube - HP side Δh | - | 14.6 | Coax tube - LP side Δh | - | 16.3 | |
| Performance [W] | | | Performance | | | |
| Condenser [kW] | - | 9.69 | Q Condenser [kJ/kg] | - | 193.9 | |
| Evaporator in [kW] | - | 6.81 | Q Evaporator in [kJ/kg] | - | 136.3 | |
| Compressor [kW] | - | 2.87 | Q Compressor in [kJ/kg] | - | 57.39 | |
| Coax Tube HPside | - | 727.97 | COP in | - | 2.38 | |
| Coax Tube LPside | - | 814.83 | COP ref | - | 2.38 | |
| η Coax Tube LP side [%] | - | 38.20 | Compression ratio | - | 5.84 | |

Tabulka je vypracována obecně a je možné do ní vkládat jak požadované parametry, tak parametry které jsou výsledkem měření. Obsahuje také údaje o sestaveném okruhu klimatizace, název měření, datum, atd.

Dalším krokem bylo vyhotovení souhrnné tabulky z výsledků všech

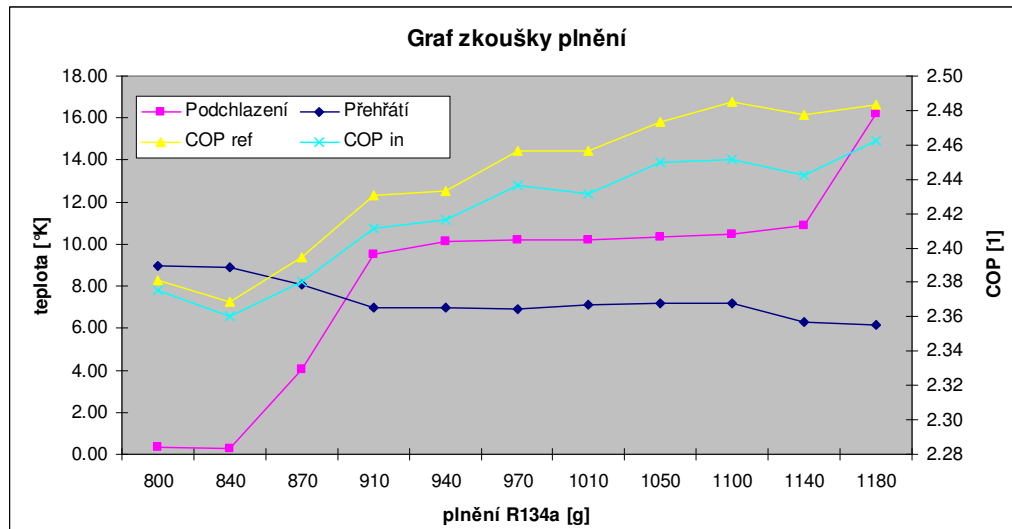
jednotlivých měření, viz tabulka č.6.3. Tyto výsledky jsou vždy rozděleny podle plnicího množství chladiva v okruhu. Ne všechny hodnoty je nakonec nutné použít do vyhodnocení měření. Jejich celkový výpis je také dán obecnou tabulkou, sloužící k automatickému přepočítání z naměřených hodnot.

tabulka 6.3 Souhrnná tabulka výsledků

| Hmotnost plnění [g] | 800 | 840 | 870 | 910 | 940 | 970 | 1010 | 1050 | 1100 | 1140 | 1180 |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| T _{air Evap in} [°C] | 40.24 | 40.39 | 40.49 | 40.56 | 40.55 | 40.60 | 40.61 | 40.55 | 40.46 | 40.49 | 40.54 |
| T _{air Evap out} [°C] | 16.59 | 16.64 | 16.39 | 16.17 | 16.18 | 16.12 | 16.08 | 16.00 | 16.00 | 15.86 | 15.92 |
| T _{air Cond in} [°C] | 45.50 | 45.65 | 46.07 | 45.99 | 45.83 | 45.65 | 45.68 | 45.36 | 45.26 | 45.38 | 45.08 |
| T _{air Cond out} [°C] | 59.73 | 59.93 | 60.51 | 60.52 | 60.41 | 60.14 | 60.19 | 59.83 | 59.73 | 59.91 | 60.11 |
| Air Massflow Evap [kg/h] | 647.79 | 649.95 | 649.94 | 649.77 | 649.87 | 650.05 | 649.84 | 649.94 | 649.90 | 650.11 | 650.08 |
| Air Massflow Cond [kg/h] | 2702.88 | 2711.92 | 2712.03 | 2710.86 | 2710.94 | 2702.94 | 2702.22 | 2693.96 | 2694.92 | 2694.17 | 2685.01 |
| Humidity _{air Evap} [%] | 39.87 | 40.00 | 39.95 | 39.96 | 40.13 | 39.97 | 39.98 | 40.07 | 40.08 | 39.91 | 40.08 |
| Humidity _{air Cond} [%] | 39.65 | 39.78 | 39.89 | 39.62 | 40.16 | 39.85 | 39.87 | 39.15 | 39.81 | 39.41 | 39.56 |
| Temperatures [°C] | | | | | | | | | | | |
| T _{Comp in} | 31.36 | 31.46 | 30.15 | 28.27 | 28.14 | 27.99 | 28.12 | 28.02 | 27.97 | 27.58 | 26.87 |
| T _{Comp out} | 109.28 | 109.65 | 109.58 | 109.57 | 109.60 | 109.15 | 109.36 | 109.04 | 109.04 | 108.92 | 110.35 |
| T _{Cond in} | 108.21 | 108.57 | 108.52 | 108.53 | 108.56 | 108.11 | 108.32 | 108.00 | 108.00 | 107.90 | 109.32 |
| T _{Cond out} | 60.93 | 61.13 | 58.82 | 55.29 | 54.86 | 54.65 | 54.68 | 54.28 | 54.10 | 54.14 | 51.81 |
| T _{TXV in} | 10.67 | 10.70 | 10.61 | 10.27 | 10.26 | 10.22 | 10.20 | 10.08 | 10.02 | 10.12 | 10.10 |
| T _{Evap in} | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T _{Evap out} | 15.08 | 15.13 | 14.25 | 12.97 | 12.98 | 12.92 | 13.10 | 13.07 | 13.06 | 12.34 | 12.37 |
| T _{TXV out} | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T _{Coax HP in} | 60.69 | 60.90 | 58.56 | 55.02 | 54.58 | 54.38 | 54.41 | 54.01 | 53.83 | 53.88 | 51.53 |
| T _{Coax HP out} | 51.64 | 51.81 | 49.78 | 46.68 | 46.36 | 46.18 | 46.27 | 45.97 | 45.83 | 45.73 | 43.89 |
| T _{Coax LP in} | 16.79 | 16.85 | 16.11 | 15.03 | 15.06 | 14.97 | 15.15 | 15.15 | 15.16 | 14.59 | 14.61 |
| T _{Coax LP out} | 33.57 | 33.68 | 32.48 | 30.64 | 30.52 | 30.38 | 30.55 | 30.42 | 30.37 | 30.01 | 29.19 |
| Differential pressures [mbar] | | | | | | | | | | | |
| HP _{side} | 60.24 | 60.44 | 63.73 | 73.04 | 72.52 | 71.88 | 68.30 | 62.76 | 52.87 | 53.46 | 51.86 |
| LP _{side} | 60.32 | 60.52 | 60.08 | 59.25 | 59.12 | 58.89 | 58.76 | 58.77 | 58.62 | 58.75 | 57.38 |
| Enthalpy [kJ/kg] | | | | | | | | | | | |
| Comp _{in} | 426.16 | 426.24 | 425.05 | 423.39 | 423.27 | 423.14 | 423.26 | 423.21 | 423.16 | 422.78 | 422.09 |
| Cond _{in} | 482.95 | 483.29 | 482.64 | 481.77 | 481.71 | 481.28 | 481.51 | 481.29 | 481.28 | 480.92 | 480.90 |
| TXV _{in} | 274.01 | 274.28 | 271.08 | 266.30 | 265.81 | 265.54 | 265.67 | 265.22 | 265.01 | 264.85 | 262.04 |
| Coax HP _{in} | 288.61 | 288.95 | 285.04 | 279.28 | 278.58 | 278.27 | 278.31 | 277.68 | 277.39 | 277.46 | 273.72 |
| Coax LP _{in} | 412.30 | 412.34 | 411.67 | 410.74 | 410.77 | 410.70 | 410.86 | 410.92 | 410.93 | 410.36 | 410.34 |
| Coax tube - HP _{side} Δh | 14.58 | 14.64 | 13.94 | 12.96 | 12.75 | 12.70 | 12.62 | 12.45 | 12.36 | 12.59 | 11.67 |
| Performance [W] | | | | | | | | | | | |
| Condenser [kW] | 9.69 | 9.72 | 9.85 | 9.97 | 10.00 | 9.99 | 10.00 | 9.96 | 9.99 | 10.03 | 10.08 |
| Evaporator _{in} [kW] | 6.81 | 6.82 | 6.92 | 7.01 | 7.04 | 7.05 | 7.05 | 7.03 | 7.05 | 7.06 | 7.11 |
| Compressor [kW] | 2.87 | 2.89 | 2.91 | 2.91 | 2.91 | 2.89 | 2.90 | 2.87 | 2.87 | 2.89 | 2.89 |
| Coax Tube HP _{side} | 727.97 | 733.69 | 696.13 | 639.02 | 628.83 | 626.54 | 622.19 | 610.34 | 606.86 | 621.72 | 568.66 |
| Coax Tube LP _{side} | 814.83 | 820.47 | 797.28 | 752.84 | 746.27 | 743.94 | 743.03 | 732.23 | 730.35 | 745.01 | 697.66 |
| η Coax Tube LP _{side} [%] | 38.20 | 38.20 | 38.56 | 39.04 | 39.13 | 39.12 | 39.23 | 39.29 | 39.33 | 39.25 | 39.48 |
| Other | | | | | | | | | | | |
| RPM [1/min] | 1793.06 | 1799.06 | 1798.93 | 1799.00 | 1798.90 | 1792.97 | 1793.04 | 1786.70 | 1787.16 | 1786.88 | 1781.02 |
| Torque [N/m] | 15.23 | 15.28 | 15.34 | 15.31 | 15.35 | 15.28 | 15.28 | 15.19 | 15.15 | 15.24 | 15.34 |
| P _{comp inside} [bar] | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| El _{motor power} [kW] | 2.86 | 2.88 | 2.89 | 2.89 | 2.89 | 2.87 | 2.87 | 2.84 | 2.84 | 2.85 | 2.86 |
| Cond Supcooling | 0.37 | 0.30 | 4.01 | 9.52 | 10.13 | 10.20 | 10.19 | 10.30 | 10.51 | 10.91 | 16.20 |
| Evap Superheat | 8.94 | 8.91 | 8.07 | 6.99 | 7.01 | 6.92 | 7.13 | 7.19 | 7.21 | 6.32 | 6.19 |
| Coax HP _{in} SH | 0.60 | 0.53 | 4.27 | 9.79 | 10.41 | 10.46 | 10.46 | 10.58 | 10.78 | 11.18 | 16.47 |
| Coax LP _{in} SH | 12.01 | 11.99 | 11.26 | 10.37 | 10.39 | 10.35 | 10.55 | 10.71 | 10.75 | 9.99 | 9.87 |
| Pressures [bar] | | | | | | | | | | | |
| P _{Comp in} | 3.13 | 3.13 | 3.13 | 3.12 | 3.12 | 3.12 | 3.12 | 3.10 | 3.10 | 3.12 | 3.14 |
| P _{Comp out} | 18.26 | 18.32 | 18.79 | 19.49 | 19.56 | 19.55 | 19.56 | 19.49 | 19.50 | 19.69 | 21.03 |
| P _{Cond in} | 17.75 | 17.81 | 18.29 | 18.99 | 19.07 | 19.00 | 19.01 | 18.89 | 18.90 | 19.10 | 20.40 |
| P _{Cond out} | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P _{TXV in} | 17.34 | 17.39 | 17.97 | 18.82 | 18.89 | 18.83 | 18.84 | 18.72 | 18.73 | 18.92 | 20.24 |
| P _{Evap in} | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 4.50 |
| P _{Evap out} | 3.64 | 3.65 | 3.64 | 3.62 | 3.62 | 3.62 | 3.62 | 3.60 | 3.60 | 3.62 | 3.64 |
| P _{TXV out} | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| P _{Coax HP in} | 17.34 | 17.39 | 17.97 | 18.82 | 18.89 | 18.83 | 18.84 | 18.72 | 18.73 | 18.92 | 20.24 |
| P _{Coax HP out} | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| P _{Coax LP in} | 3.47 | 3.48 | 3.48 | 3.46 | 3.46 | 3.45 | 3.45 | 3.43 | 3.43 | 3.45 | 3.46 |
| P _{Coax LP out} | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Refrigerant | | | | | | | | | | | |
| Massflow [kg/h] | 179.78 | 180.38 | 179.81 | 177.56 | 177.52 | 177.55 | 177.55 | 176.49 | 176.72 | 177.79 | 175.43 |
| Oil concentration [%] | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 |
| Enthalpy [kJ/kg] | | | | | | | | | | | |
| Comp _{out} | 483.55 | 483.90 | 483.23 | 482.36 | 482.30 | 481.78 | 482.03 | 481.73 | 481.73 | 481.34 | 481.30 |
| Cond _{out} | 289.00 | 289.34 | 285.47 | 279.71 | 279.01 | 278.69 | 278.73 | 278.11 | 277.82 | 277.87 | 274.15 |
| Evap _{out} | 410.35 | 410.37 | 409.58 | 408.47 | 408.49 | 408.42 | 408.60 | 408.59 | 408.60 | 407.89 | 407.86 |
| Coax HP _{out} | 274.04 | 274.31 | 271.11 | 266.32 | 265.83 | 265.56 | 265.69 | 265.23 | 265.03 | 264.87 | 262.05 |
| Coax LP _{out} | 428.62 | 428.71 | 427.63 | 426.01 | 425.90 | 425.78 | 425.93 | 425.85 | 425.81 | 425.45 | 424.66 |
| Coax tube - LP _{side} Δh | 16.32 | 16.37 | 15.96 | 15.26 | 15.13 | 15.08 | 15.07 | 14.94 | 14.88 | 15.09 | 14.32 |
| Performance | | | | | | | | | | | |
| Q _{Condenser} [kJ/kg] | 193.95 | 193.95 | 197.17 | 202.06 | 202.70 | 202.59 | 202.78 | 203.18 | 203.46 | 203.04 | 206.76 |
| Q _{Evaporator} [kJ/kg] | 136.34 | 136.09 | 138.49 | 142.18 | 142.68 | 142.88 | 142.92 | 143.38 | 143.58 | 143.03 | 145.82 |
| Q _{Compressor} [kJ/kg] | 57.39 | 57.66 | 58.17 | 58.97 | 59.04 | 58.64 | 58.77 | 58.52 | 58.56 | 58.57 | 59.21 |
| COP _{in} | 2.38 | 2.36 | 2.38 | 2.41 | 2.42 | 2.44 | 2.43 | 2.45 | 2.45 | 2.44 | 2.46 |
| COP _{ref} | 2.38 | 2.37 | 2.39 | 2.43 | 2.43 | 2.46 | 2.46 | 2.47 | 2.49 | 2.48 | 2.48 |
| Compression ratio | 5.84 | 5.85 | 6.00 | 6.24 | 6.26 | 6.27 | 6.27 | 6.29 | 6.30 | 6.32 | 6.70 |

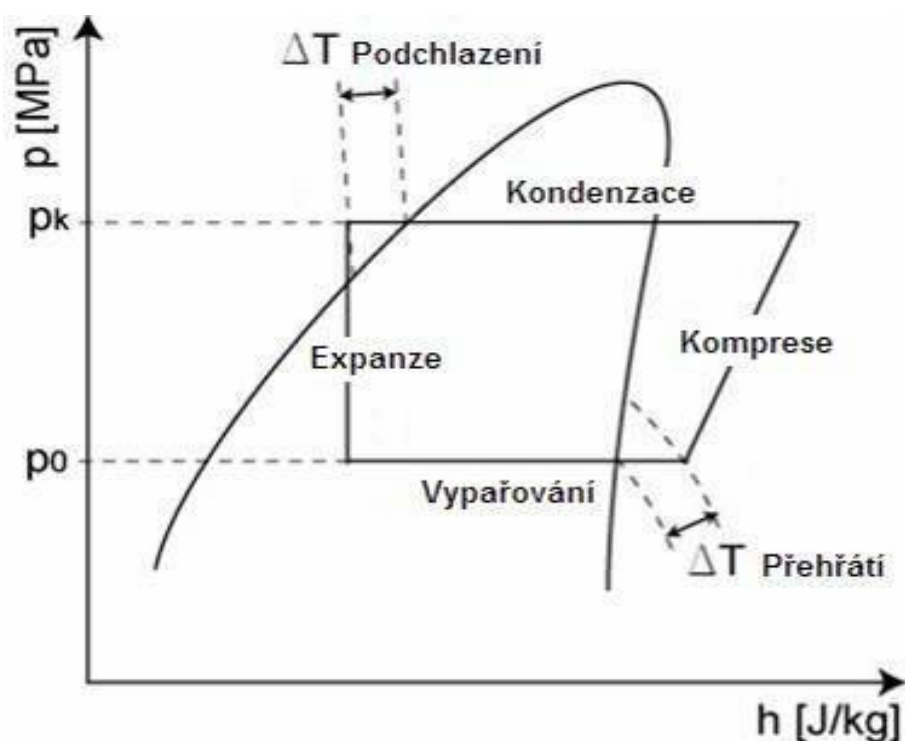
6.4 Vyhodnocení výsledků měření

Nejnázornější zhodnocení výsledků lze obvykle provést v grafickém znázornění naměřených a vypočtených hodnot. V našem případě je zobrazení hodnot v grafu směrodatné pro určení vhodného rozsahu plnění okruhu. Ukazuje dále závislost efektivnosti chodu klimatizace v závislosti na tomto plnění chladivem. Na obrázku č. 6.4 lze vidět graf těchto závislostí. Obecně lze napsat, že až po hodnotu plnění 1100g chladiva stoupaly obě účinnosti. Největší rozdíl v nárůstu byl zaznamenán při počátečních navyšováních planění od 800g do 970g. Zaznamenaný rozdíl v účinnosti je v absolutních číslech velmi malý, ale ve srovnání s hodnotami nárůstu od 970g do 1180g je výrazně vyšší.



Obrázek 6.4 Graf výsledků měření zkoušky plnění okruhu

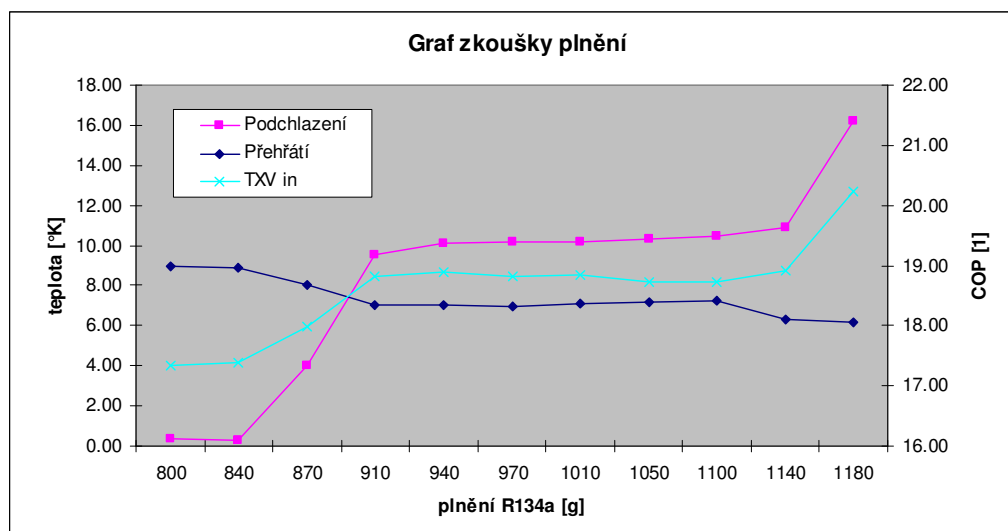
Hodnotami, které jsou směrodatné pro výsledné určení ideálního plnění, jsou hodnoty podchlazení a přehřátí chladiva. Pro lepší pochopení je dobré si popsat, co tyto hodnoty znamenají a jaký mají vliv na chod klimatizace. Na obrázku č. 6.5 je vidět schématické zakreslení běžného okruhu do p-h diagramu. V levé dolní části oběhu je vidět zakreslení rozdílu teplot, které se nazývá přehřátí páry (chladiva). Přehřátí páry je počet stupňů, o kolik je teplota vyšší než je jeho saturační teplota při daném tlaku. Podobně je tomu v případě podchlazení, jež je vidět v opačném rohu schématického zakreslení. Podchlazení kapaliny (chladiva) je tedy opačný jev, kdy se jedná o počet stupňů, o kolik je teplota kapaliny nižší než je jeho saturační teplota při daném tlaku.



Obrázek 6.5 Znázornění hodnot přehřátí a podchlazení

Výsledkem našeho měření je tedy zjištění, že námi použitý laboratorní okruh má ideální plnění v rozsahu 940g až 1100g chladiva. V tomto rozsahu se účinnost okruhu nepatrně zlepšuje – směrem k vyšším hodnotám plnění již dokonce účinnost neroste. Ve zmíněném rozsahu ideálního plnění se přehřátí ani podchlazení nemění, podmínky pro oběh chladiva jsou velmi konstantní. Z grafu je dále patrné, že hodnoty přehřátí a podchlazení jsou překvapivě konstantní. Tento jev ukazuje na rovnováhu celého systému, způsobenou ideálním množstvím chladiva v systému klimatizace. Dále je patrné, že s dalším navyšováním hodnot plnění pravděpodobně bude nadále klesat přehřátí a tím se bude zvyšovat riziko, že se teplota chladiva dostane pod saturační teplotu a přicházející chladivo do kompresoru bude obsahovat kapičky kapalné fáze chladiva. Jak již bylo popsáno, tento jev je velice nebezpečný a může vést ke zničení kompresoru. Hodnota přehřátí je obvykle pevně nastavena vlastnostmi TXV ventilu a jeho hodnota je obvykle jen velmi malá, okolo 1-3°K.

Pro zajímavost lze vypracovat graf prokazující souvislost mezi tlakem chladiva na vstupu do TXV ventilu (vysokotlaká strana) a změnami v hmotnostním obsahu chladiva v systému, viz. obrázek č. 6.6. Z grafu je velmi patrný vzestup tlaku na vstupu do TXV ventilu. Další plnění systému přináší negativní vlivy na chod klimatizace, zejména na plynulost a rovnoměrnost zatížení kompresoru. Pokud bychom zakreslili tento stav do digramu p-h (obrázek 2.4), viděli bychom zřetelný posun do levé horní části.



Obrázek 6.6 Průběh přehřátí – podchlazení a tlaku na TXV vstup

Obecná praxe při zajišťování dostatečného plnění automobilových klimatizací vychází z podobné zkoušky. Plnění však není dáno první (nejnižší) ideální hodnotou, jak by bylo možno z výsledků příslušného „charge testu“ vyčíst a což by také přineslo podstatné úspory chladiva. Plnicí množství je ještě navýšeno tak, aby průměrné ztráty chladiva vlivem netěsností neměly vliv na jeho funkci, alespoň po dobu jeho záruky. U některých klimatizačních okruhů bývá roční ztráta okolo 25g/rok.

U laboratorních okruhů je možno použít kteroukoliv z těchto hodnot a to i první nejnižší. Je však nutné tuto hodnotu plnění pro daný systém dodržet, aby byla zachována možnost srovnávání jednotlivých měření.

7 Závěrečné zhodnocení výsledků měření

V práci bylo provedeno několik měření. Závěry z měření provedených na jednotlivých klimatizačních komponentách jsou uvedeny v závěru kapitoly jednotlivých měření. Poměrně překvapivým zjištěním z druhého měření skutečného s jednoduchým tlakovým snímačem klim. okruhu, je jeho schopnost relativně přesného měření i při velmi vysokých teplotách okolo 125°C. Jak již bylo napsáno, kvalitní a přesné snímače jsou obvykle schopny odolávat teplotám pouze do 70-80°C. Tento fakt samozřejmě vychází z použitého principu převodníku tlaku na elektrickou veličinu. Moderní piezoresistivní polovodičové snímače jsou však schopny výslednou hodnotu tlaku kompenzovat podle aktuální teploty, která je měřena přímo uvnitř snímače. Výsledky přesnosti a schopnosti měření jednoduchého klimatizačního snímače odpovídají požadavkům na něj kladené a jsou samozřejmě kompromisem s jeho cenou, která jej podstatně ovlivňuje. Fakt spolehlivého měření při vysokých teplotách v takové kvalitě je sice překvapivý, ale je také splněním požadavku, který je obvykle kladen na automobilové součástky umístěné v motorovém prostoru automobilu.

Hlavním měřením práce bylo vyhotovení zkoušky plnění na celém laboratorním okruhu klimatizace. Jak již bylo popsáno, zkouška byla provedena na celé sestavě klimatizačního okruhu. První část práce se podrobně zabývá popisem jednotlivých částí okruhu. Dobré pochopení funkce a konstrukce jednotlivých součástí je důležité pro pochopení fungování klimatizace jako celku. Výborné pochopení a osvojení si chování celého okruhu klimatizace je nutné pro ovládání Systémového standu a regulaci jednotlivých provozních parametrů

Určení výsledných hodnot ideálního plnění okruhu je provedeno odečtením z výsledného grafu, kde je nejlépe viditelný přechod okruhu ke stabilizaci běhu a kde i poměrně významné změny v hmotnosti plnění chladiva nevykazují změny sledovaných parametrů chodu klimatizace. Na výsledném grafu je také patrný vliv hmotnostního plnění na účinnost chodu klimatizace a vliv stejného plnění na tlak chladiva na výtlačné straně za kompresorem. Je předpoklad, že tento tlak by nadále výrazně rostl, pokud by se hmotnostní plnění v okruhu dále zvyšovalo.

Po celou dobu měření byla udržována koncentrace oleje v okruhu na hodnotě 3%. Jak je obecně známo, olej má zásadní vliv na chod kompresoru. Méně známou skutečností je, že pokles o pouhé jedno procento má zásadní vliv na zvýšení tlakových ztrát v klimatizačním vedení a tím také podstatný vliv na snížení COP celého systému.

7.1 Směry zlepšení měření na klimatizačních okruzích

Směry zlepšení metody měření na klimatizačních okruzích lze orientovat na zlepšení provedení zkoušky samotné. Během našeho měření se vyskytlo několik příležitostí, kdy bylo možné využít získaných zkušeností a zlepšit měření. Jednotlivé zlepšení se týkají hlavně zařízení systémového standu a jsou vypsána samostatně.

- **Měření teploty** – měření teploty na klimatizačních okruzích probíhalo velmi malými termočláňkovými snímači. Jejich přesnost je obecně dostatečná, ale pro měření teploty chladiva byly umístovány nevhodně přímo na klimatizační vedení. Pro zlepšení přenosu teploty byly obalovány samolepicí hliníkovou fólií a ještě tepelnou izolací, viz. obrázek č. 7.1 . Úpravou klimatizačního vedení a napájením příslušných adaptérů, lze vytvořit podmínky pro připojení teplotních snímačů typu PT100, umístěných v nerezové zaslepené trubičce.

Utažením a zaslepením v napájeném adaptéru, viz. obrázek č. 7.2, dojde k významnému zlepšení přesnosti měření teploty přímo protékajícího chladiva. Ovlivnění měření tepelnou setrvačností vedení je tak minimalizováno. Nevýhodou je, že s každým takto vytvořeným adaptérem se zvyšuje riziko netěsnosti okruhu a tím také prodloužení času přípravy měření v případě hledání netěsnosti.



Obrázek 7.1 Měření teploty termočlánkovými snímači

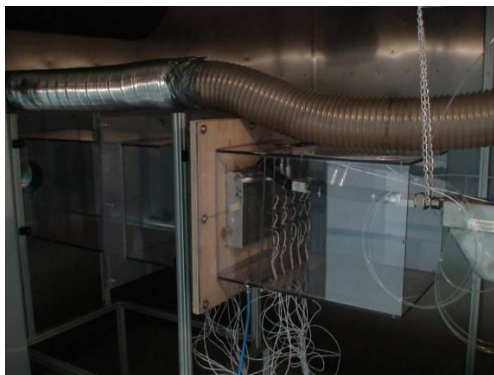


Obrázek 7.2 Měření teploty snímačem PT100

Takto provedenou změnu je vhodné dále analyzovat a dopracovat. Velmi vhodné je vypracování teplotních závislostí na hloubce ponoření v trubce vedení. Hlavně pak u nízkotlakých trubek se dostáváme na průměry větší než 20mm. Vytvoření teplotního profilu by pak zaručovalo jistotu, že teplotní vrstvení není nebo je podstatné pro měření, popř. jak mnoho, atd.

- **Tepelné zatěsnění vedení přívodu teplotního média** – Přívod teplotního média ve výparníkové komoře systémového standu je provedeno tepelně nezatěsněnou hadicí o průměru okolo 350mm. Teplotní snímač sloužící jako referenční snímač, na jehož měření je celá regulace teploty vytvořena, je okolo 5metrů od místa kde se médiu dostává do kontaktu s výparníkem. Během této „cesty“ dojde k poměrně významnému poklesu teploty média bez kontroly zařízení. Zařízení považuje za vstupní teplotu do výparníku hodnotu z teplotního snímače na počátku této „cesty“ a jehož měření neodpovídá skutečnosti. Tím je poměrně významně narušena přesnost měření. Na obrázku č. 7.3 je možné vidět stav před úpravou. Uskutečněnou změnou je tedy teplotní izolace přívodu. Tímto opatřením došlo ke zlepšení měřicích vlastností soustavy a pokles teploty média byl snížen o 3°C pro námi

nastavované podmínky. Rozdíl teplot byl tímto výrazně eliminován, bohužel tento problém nebyl úplně odstraněn a jeho vliv je stále patrný i z výsledků našeho měření (viz. rozdíl mezi požadovanou teplotou na výparníku a průměrně dosaženou na výparníku).



Obrázek 7.3 Přívodní trubice teplotosného média

- **Měření vlhkosti na výstupu z výparníku** – Předmětem zlepšení je postup měření vedoucí k určení množství vysrážené vlhkosti za výparníkem. Jedná se velmi jednoduchý postup jak zpřesnit měření výkonu výparníku. Předmětem změny je tedy zachycování vysrážené vlhkosti – vody do předem připraveného zásobníku. Na konci měření lze vodu zvážit a tím poměrně přesně vyhodnotit její množství. Z takto zjištěného množství lze dále vyhodnotit vlastnosti odcházejícího média z výparníku. Tato změna byla prakticky pokusně odzkoušena, ale trvalá úprava nebyla dosud prakticky provedena.

7.2 Zhodnocení získaných zkušeností

Závěry jednotlivých měření byly vyhotoveny samostatně po každém měření tak, aby byla zachována přehlednost dosažených výsledků. Obecným závěrem a největší zkušeností, kterou je možné si odnést z této práce, je utřídění si znalostí v oblasti klimatizačních systémů a komponent, jejich konstrukce, účel použití a jednotlivé funkce, které v okruhu plní. Další významnou zkušeností je vyjasnění si pojmů přesnosti, neopakovatelnosti, hystereze nebo např. nepřesnosti měření (podle ISO-EN 60 770), pro něž bylo hlavně provedeno měření na jednoduchém klimatizačním snímači tlaku.

Velmi dobrá je také zkušenost s měřením provedeným na systémovém standu, jehož ovládání je poměrně složité a vyžaduje mnoho zkušeností z praxe. Zadané hodnoty, na nichž je možné parametry běhu klimatizace porovnávat mezi sebou, byly dány z dříve získaných zkušeností a jsou obecně považovány za hodnoty, které mají definovaný vztah ke skutečnému provozu klimatizace. Avšak přivedení okruhu na tyto provozní parametry vyžaduje mimořádné zkušenosti s chováním okruhu samotného a s chováním systémového standu jako takového. Některé odezvy sledovaných veličin na vstupní změnu vyžadují opravdu velkou trpělivost. Zkouška plnění množství samozřejmě patří mezi poměrně snadné zkoušky, co se týče dosažení těchto podmínek. Přesto se některé hodnoty požadavku a průměrné naměřené hodnoty mírně liší. U daného typu měření bylo ověřeno, že jejich vliv na výsledek je zanedbatelný.

Pokud je požadavek na měření charakteristik klimatizačního okruhu v extrémních podmínkách, je snadno představitelné, že ne všechny požadované hodnoty je možné dosáhnout. Je vždy na zkušenosti operátora samotného, které z těchto požadovaných hodnot bude upřednostňovat a jejichž přesné dosažení bude vyžadovat. Zhodnocení důležitosti vychází z typu zkoušky a zaměření tak, aby dosažená nepřesnost co možná nejméně ovlivnila výsledek typu měření, pro který je zkouška uskutečňována.

Seznam literatury

- Farana, R. aj. *Zpracování závěrečných textů z oblasti automatizace a informatiky. Včetně anglicko-českého slovníku automatizační techniky a řízení*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. 116 s. ISBN 80-248-0557-X.
- VÍTEČKOVÁ, M., VÍTEČEK, A. *Anglicko-český slovník základních pojmů z oblasti automatického řízení*. 2. rozšířené vydání. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, 2009. 133 s. ISBN 978-80-248-2115-3
- Bok, K., Kubáň, J. & Peksa, L. *Vakuová technika*. Učební text pro pomaturitní specializační kurz. Rožnov pod Radhoštěm: SPŠE Rožnov pod radhoštěm, 2005. 72 s.
- Michalica, Karel, et al. *Nové trendy v chlazení, klimatizaci a diagnostice automobilů*. Vysoké učení technické v Brně, Energetický ústav, odbor termomechaniky a techniky prostředí, VUT Brno, 2008. 171 s.
- PALEŇČÁR, R., VDOLEČEK, F. & HALAJ, M. *Nejistoty v měření I: vyjadřování nejistot*. AUTOMA. 7-8/2001, ročník VII, s. 54. ISSN 1210-9592.
- TŮMA, J. *Diagnostika strojů*, 1. vyd. Ostrava : Skripta VŠB – TU Ostrava, 2009. 138 s. ISBN 978-80-248-2116-0.
- TŮMA, J. *Signal processing*, 1. vyd. Ostrava : Skripta VŠB – TU Ostrava, 2009. 156 s. ISBN 978-80-248-2114-6. (in English)
- ŠVARC, I., ŠEDA, M. & VÍTEČKOVÁ, M. *Automatické řízení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, fakulta strojního inženýrství, říjen 2007. 324 s. ISBN 978-80-214-3491-2.,
- ŘÍHA, J., *Prezentace Základy proudění, chlazení a přenos tepla*. Interní učební pomůcky Visteon - Autopal, s.r.o. [online]. 2008. 53 s.
- NOSKIEVIČ, P. *Modelování a identifikace systémů*. Ostrava – Vítkovice: Montanex a.s., říjen 2007. 276 s.
- ŠKODA AUTO, *Dílenská učební pomůcka – Škoda Octavia Climatronic*. 1998. 20 s.
- EU. *Nařízení komise (ES) č.706/2007 ze dne 21.června 2007, návazný na předpis 2006/40/EC*. 2007, 73 s.
- EU. *Směrnice evropského parlamentu a rady 2006/40/ES ze dne 17.května 2006*. 2006, 57 s.
- ČSN EN 60 770. *Měřicí převodníky pro řídicí systémy průmyslových procesů : Metody hodnocení vlastností*, Český normalizační institut, 2000. 232 s. ICS 25.040.40.
- Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce*. In . VŠB - TUO, Fakulta strojní, 2010. Dostupné z WWW: <<http://www.352.vsb.cz/vyuka.htm>>.
- LDS Test and Measurement* [online]. 2010 [cit. 2010-05-02]. Medium Force Shakers. Dostupné z WWW: <<http://www.lds-group.com>>.
- Weiss enviromantal technik* [online]. 2010 [cit. 2010-05-02]. Temperatures and climate test chambers. Dostupné z WWW: <<http://www.weiss-et.com>>.
- BD Sensors pressure measurement* [online]. 2010 [cit. 2010-05-02]. DMP 343. Dostupné z WWW: <<http://www.bdsensors.cz>>.
- Rawet [online]. 2010 [cit. 2010-05-02]. Teploměry kabelové. Dostupné z WWW: <<http://www.rawet.cz>>.